

APPROFONDIMENTI

Prevenzione e lotta alle tracheofusariosi delle piante floricole e orticole

Maria Lodovica Gullino^{*,**} - Giovanna Gilardi^{*} - Angelo Garibaldi^{*}

^{*} Centro di Competenza per l'Innovazione in campo agro-ambientale AGROINNOVA - Università degli Studi di Torino - Grugliasco (TO)

^{**} Dipartimento di Scienze Agrarie, forestali e Alimentari DISAFA - Università degli Studi di Torino - Grugliasco (TO)

Introduzione

Negli ultimi quindici anni c'è stata nel nostro Paese, e in particolare nell'Italia nord-occidentale, una vera e propria invasione di nuove tracheofusariosi su colture ornamentali e orticole, spesso comparse per la prima volta nel mondo o in Europa; molte di queste prime segnalazioni hanno interessato la Liguria (Tabella 1). Questa vera e propria esplosione di nuove malattie causate da forme speciali diverse di *Fusarium oxysporum* è da mettere in relazione, almeno in parte, con la diffusione del patogeno mediante seme o materiale di propagazione infetto. La frequenza di comparsa di nuove tracheofusariosi in Italia (e, in particolare, in Liguria) può essere spiegata con la presenza di numerosi vivai che intrattengono intensi scambi commerciali con l'estero e con l'intensa e costante evoluzione della orto-floricoltura italiana e ligure in particolare.

Una difesa non facile

Considerata la continua comparsa di nuovi agenti di malattie vascolari (Gullino *et al.*, 2012 c; Gullino *et al.*, 2014 b; Garibaldi *et al.*, 2015), risulta evidente la notevole difficoltà di affrontarli con la limitatissima disponibilità di mezzi chimici di lotta efficaci e registrati (Gullino e Garibaldi, 2006; Garibaldi e Gullino, 2010; Garibaldi *et al.*, 2014; Gullino *et al.*, 2015 a). La difesa dalle tracheofusariosi, così come da molte malattie causate da funghi terricoli, è al momento attuale difficile e assai costosa e va soprattutto impostata sull'adozione di misure preventive efficaci e su limitati interventi di lotta diretta. In pratica la difesa si basa sul ricorso a: 1) materiale di moltiplicazione sano e adatte tecniche culturali; 2) varietà resistenti, quando disponibili o, almeno, poco suscettibili al patogeno; 3) disinfezione del terreno o del substrato di coltivazione; 4) mezzi fisici; 5) fungicidi durante la coltivazione;

Tabella 1 - Principali nuove piante ornamentali e orticole colpite da tracheofusariosi in Italia dopo il 2000 (da Gullino *et al.*, 2012 c; Gullino *et al.*, 2014 b; Garibaldi *et al.*, 2015).

Table 1 – Main new ornamental and vegetable hosts of *Fusarium wilt* in Italy, after the year 2000 (from Gullino *et al.*, 2012 c; Gullino *et al.*, 2014 b; Garibaldi *et al.*, 2015).

Ospite Ornamentali	Genere e specie	Patogeno	Segnalata nell'anno (regione)	Trasmissione mediante seme o materiale di propagazione confermata
Cereus marginato	<i>Cereus marginatus</i> var. <i>cristata</i>	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>opuntiarum</i>	2014 (Liguria)	
Cereus peruviano	<i>Cereus peruvianus monstrosus</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>opuntiarum</i>	2011 (Liguria)	
Crassula	<i>Crassula ovata</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>crassulae</i>	2011 (Liguria)	
Echeveria	<i>Echeveria agavoides</i>	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>echeveriae</i>	2013 (Liguria)	
Echeveria	<i>Echeveria tolimanensis</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>echeveriae</i>	2015 (Liguria)	
Lisianthus	<i>Eustoma grandiflorum</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>eustomae</i>	2002 (Liguria)	
Gerbera	<i>Gerbera jamesonii</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>chrysanthemi</i>	2004 (Liguria)	
Lewisia	<i>Lewisia cotyledon</i>	<i>F. oxysporum</i>	2005 (Piemonte)	
Osteospermum (Dimorfoteca)	<i>Osteospermum</i> spp.	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>chrysanthemi</i>	2004 (Liguria)	
Papavero d'Islanda	<i>Papaver nudicaule</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>papaveris</i>	2012 (Liguria)	+
Berretta del vescovo	<i>Astrophytum myriostigma</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>opuntiarum</i>	2016 (Liguria)	
Euphorbia	<i>Euphorbia mammillaris</i> var. <i>variegata</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>opuntiarum</i>	2015 (Liguria)	
Mammillaria	<i>Mammillaria zeilmanniana</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>opuntiarum</i>	2016 (Liguria)	
Cereus peruviano	<i>Cereus peruvianus florida</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>opuntiarum</i>	2016 (Liguria)	
Lavanda	<i>Lavandula × allardii</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lavandulae</i>	2016 (Liguria)	
Orticole				
Cetriolo	<i>Cucumis sativus</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-cucumerinum</i>	2015 (Veneto)	+
Zucchini	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Fusarium solani</i> f.sp. <i>cucurbitae</i>	2007 (Toscana)	+
Cicoria	<i>Cichorium intybus</i>	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>cichorii</i>	2010 (Piemonte)	
Endivia	<i>Cichorium endiviae</i>	<i>F. oxysporum</i>	2009 (Piemonte)	
Lattuga	<i>Lactuca sativa</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lactucae</i>	2002 (Lombardia)	+
Rucola coltivata	<i>Eruca vesicaria</i>	<i>F. oxysporum</i> ff. spp. <i>raphani</i> e <i>conglutinans</i>	2002 (Lombardia)	+
Rucola selvatica	<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	<i>F. oxysporum</i> ff. spp. <i>raphani</i> e <i>conglutinans</i>	2002 (Lombardia)	+
Spinacio	<i>Spinacia oleracea</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>spinaciae</i>	2014 (Campania)	+
Valerianella	<i>Valerianella olitoria</i>	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i>	2003 (Lombardia)	

6) mezzi di lotta biologica o prodotti cosiddetti naturali.

Di seguito ci soffermiamo sulle principali strategie di difesa, insistendo su quelle di tipo preventivo, con esempi derivanti dall'esperienza direttamente acquisita dal Centro di Competenza Agroinnova negli ultimi 15 anni.

Le strategie di difesa

Impiego di materiale di propagazione sano o risanato

La sanità del materiale di propagazione e delle sementi in particolare rappresenta, oggi più che mai, un imprescindibile contributo alla qualità del prodotto finale. L'importanza del seme come vettore di patogeni viene accresciuta dall'intensità degli scambi, caratteristica del settore ortofloricolo in Italia e nel mondo. Non poche delle problematiche emergenti possono essere in parte o totalmente imputabili all'uso di sementi o materiale di moltiplicazione infetti (Tabella 1). Infatti diversi patogeni terricoli, tra cui *Fusarium oxysporum*, possono raggiungere il terreno, nel quale poi si manterranno e diffonderanno, mediante il materiale di propagazione infetto o contaminato (Gullino *et al.*, 2014 b). Le colture protette e le moderne tecniche di coltivazione fuori suolo, soprattutto per la ridotta presenza di microflora antagonista nelle fasi iniziali di sviluppo, sono particolarmente vulnerabili alle infezioni trasmesse per seme o materiale di moltiplicazione.

Tra gli innumerevoli esempi di diffusione a livello internazionale di parassiti, verificatisi attraverso materiale di propagazione infetto nel settore delle colture ornamentali, ricordiamo, in particolare, quelli della tracheofusariosi del garofano (*F. oxysporum* f. sp. *dianthi*), del ciclamino (*F. oxysporum* f. sp. *cyclaminis*), del crisantemo, della gerbera, della dimorfoteca (*F. oxysporum* f. sp. *chrysanthemi*) nonché delle bulbose (Gullino *et al.*, 2012 a). Per le colture orticole, si citano, a titolo di esempio, gli agenti di tracheofusariosi di basilico (*Fusarium oxysporum* f. sp. *basilici*), lattuga (*F. oxysporum* f. sp. *lactucae*), rucola (*F. oxysporum* f. sp. *conglutinans* e *F. oxysporum* f. sp. *raphani*), e spinacio (*F. oxysporum* f. sp. *spinaciae*). Nella maggioranza dei casi sono sufficienti percentuali assai basse (poche unità su 1.000 organi) di semi o di talee, bulbi e rizomi infetti per permettere la rapida diffusione della malattia in campo nell'azienda, nei dintorni (localmente) nonché in aree geografiche diverse.

Risulta, quindi, importante il ricorso a tutte quelle tecniche che permettono di ridurre fortemente il rischio di trasmissione dei parassiti attraverso materiale di riproduzione infetto. La concia del materiale di propagazione con adatti fungicidi, come evidenziato in Italia per la tracheofusariosi di diverse bulbose e della lattuga risulta efficace, ma, come vedremo meglio in seguito, pochi sono i mezzi chimici autorizzati per tale impiego, e grande interesse è rivolto ai metodi fisici e ai prodotti biologici e naturali (Gilardi *et al.*, 2005; Gullino 2012; Gullino *et al.*, 2014 a).

Nel caso delle bulbose, la lotta contro la fusariosi, oltre che sulla adozione di corrette pratiche agronomiche (irrigazioni e concimazioni equilibrate), si basa su trattamenti di concia dei bulbo-tuberi e bulbi effettuati con miscele di benzimidazoli e procloraz, alle dosi rispettivamente di 4 e 2-3 g/l di principio attivo. L'impiego di miscele di fungicidi aventi un diverso meccanismo di azione per i trattamenti di concia viene consigliato per ritardare la diffusione di ceppi dell'agente della malattia resistenti ai benzimidazoli, la cui presenza è già stata segnalata da tempo nel nostro Paese nel caso, ad esempio, della fusariosi del gladiolo (Migheli e Garibaldi, 1990; Gullino, 2012).

Sali (tra cui l'ipoclorito di sodio), estratti vegetali e oli, come l'olio essenziale di timo, sono utilizzati anche in condizioni commerciali per il contenimento di diversi patogeni di specie ornamentali. Tuttavia, il loro effetto nei confronti delle tracheofusariosi risulta

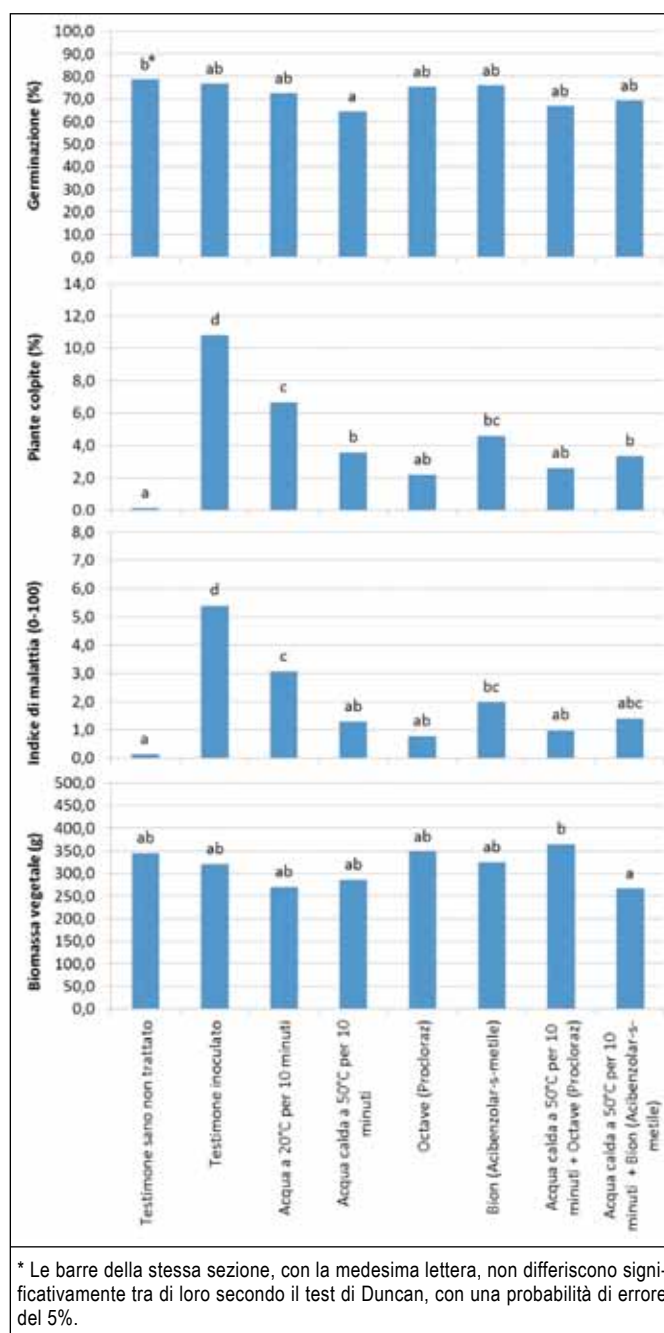


Figura 1 - Effetto di trattamenti con acqua calda sulla germinazione, piante colpite, indice di malattia e biomassa da semi di lattuga cv Crispilla Blanca inoculati artificialmente con *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* (from Lopez *et al.*, 2015).

Figure 1- Effect of hot water treatments on germination, infected plants, disease index and fresh biomass from lettuce cv. Crispilla Blanca seeds artificially inoculated with *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* (from Lopez *et al.*, 2015).

solo parziale (Bowers e Locke 2000; Elmer 2002; Singh e Kumar, 2011).

Nel caso di semi di lattuga artificialmente inoculati con clamidospore di *F. oxysporum* f.sp. *lactucae*, l'immersione in acqua a 50°C per 10 minuti, ha ridotto la malattia in modo statisticamente simile al trattamento con procloraz. Il migliore risultato in termini di biomassa prodotta è stato ottenuto combinando i due trattamenti, quello chimico e quello fisico (Lopez *et al.*, 2015) (Figura 1).

Alcune applicazioni di aria calda, soprattutto a 65°C per 10 minuti, hanno incrementato lo sviluppo delle piante di basilico ottenute da semi risanati a 20 giorni dalla semina, anche se valutando la percentuale di germinazione non sono state osservate differenze

Tabella 2 – Efficacia espressa come riduzione percentuale dell’incidenza della malattia, data dall’impiego di microrganismi e di diversi fungicidi in trattamenti di concia del seme di basilico combinati con il trattamento termico con aria a 65 °C per 10 minuti nei confronti della contaminazione da *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilici* (cv Genovese) (da Lopez *et al.*, 2016).

Table 2 – Efficacy expressed as percentage of reduction in disease incidence by using biocontrol agents and different fungicides applied as basil seed treatment, combined with 10 minutes of treatment at 65°C against *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilici* (cv. Genovese) (from Lopez *et al.*, 2016).

Trattamento	Efficacia (%)	Sinergia del trattamento quando combinato con il trattamento fisico
Prochloraz	89,2	+
Acibenzolar-S-metile	76,1	+
<i>Pseudomonas putida</i> FC7B (EU836174)	70,0	+
<i>Pseudomonas</i> sp. FC8B (EU836171)	58,9	+
<i>Pseudomonas</i> sp. FC9B (EU836172)	66,8	+
<i>Pseudomonas</i> (FC7+FC8+FC9)	63,0	+
Prochloraz + acibenzolar –S-metile	93,0	+
Prochloraz + acibenzolar –S-metile + <i>Pseudomonas</i> FC7+FC8+FC9)	93,5	+
Acibenzolar –S-metile + <i>Pseudomonas</i> (FC7+FC8+FC9)	73,3	+
<i>Fusarium oxysporum</i> MSA35 + 251/2	49,2	+

significative. Quindi, almeno per quel che riguarda il basilico, le numerose sperimentazioni condotte dimostrano che il trattamento dei semi con aria calda può portare ad una crescita più vigorosa delle piante (Lopez *et al.*, 2015) (Figura 2). La combinazione del trattamento con aria calda (65°C per 10 minuti) con trattamenti chimici (prochloraz e acibenzolar-S-metile), o con microrganismi (*Pseudomonas* spp. e *Foxysporum* MSA35) (Tabella 2) ha fornito significative riduzioni della contaminazione dei semi di basilico da *F.oxysporum* f. sp. *basilici*, senza effetto negativo sulla germinazione e con un generale miglioramento della biomassa prodotta (Lopez *et al.*, 2016).

Seppur non risolutivo nel risanamento dei semi da *Fusarium oxysporum*, di un certo interesse risulta il possibile impiego di oli essenziali, applicati come concia umida nel caso della lattuga o per fumigazione nel caso di semi di basilico (Lopez *et al.*, 2014) (Tabella 3).

Per evitare l’uso di materiale infetto è importante poter disporre di tecniche diagnostiche per evidenziare rapidamente l’eventuale presenza di patogeni su semi e materiale di moltiplicazione (Lievens *et al.*, 2012; Gullino *et al.*, 2014 c).

Pratiche culturali

Dal punto di vista della prevenzione, grande importanza rivestono gli interventi agronomici volti a contenere l’incremento del potenziale di inoculo dei parassiti nel terreno e a creare condizioni

ambientali non predisponenti nei confronti degli attacchi del patogeno (Gullino *et al.*, 2012 a).

La scrupolosa osservanza di alcune norme igieniche essenziali, che possono servire a ridurre al minimo il rischio di introdurre patogeni nelle serre o di favorirne lo sviluppo una volta introdotti nel terreno risulta di facile attuazione e di estrema utilità nel caso di colture protette. Tali norme consistono nell’accurata rimozione delle piante della coltura precedente e dei residui colturali rimasti nel terreno o substrato di coltura (Elmer, 2012). Purtroppo di difficile attuazione in sistemi colturali intensivi è l’utilizzo di rotazioni colturali considerando che alcune *formae speciales* hanno più ospiti. Non va esclusa, inoltre, la possibilità, riportata nel caso di *F. oxysporum* f. sp. *lactucae*, che il patogeno colonizzi le radici di altre piante considerate ospiti non suscettibili, tra le quali il melone, l’anguria, il pomodoro, lo spinacio e il cotone, che possono così favorire la sopravvivenza del patogeno anche in assenza di lattuga (Scott *et al.*, 2014).

Oltre alle elevate temperature e alle lesioni radicali causate da pratiche colturali poco accurate o da parassiti animali (in particolare nematodi), anche elevate concimazioni azotate e il pH del terreno incidono notevolmente sullo sviluppo delle tracheofusariosi. Per quanto riguarda il pH, si è osservato che passando da 7,5-8,0 a 6,0-6,5, mediante l’aggiunta di torba o solfo, si verifica un aumento significativo della gravità dei sintomi di alcune malattie vascolari. Ciò potrebbe essere spiegato con una

Tabella 3 - Efficacia dei trattamenti con oli essenziali di santoreggia e timo sulla contaminazione dei semi di lattuga cv Crispilla inoculati artificialmente con *Fusarium oxysporum* f sp. *lactucae* e basilico cv Genovese Gigante inoculati artificialmente con *F. oxysporum* f sp. *basilici* (da Lopez *et al.*, 2014).

Table 3– Efficacy of treatments with savory and thyme essential oils to reduce contamination on lettuce (cv Crispilla) and basil (cv. Genovese gigante) artificially inoculated respectively with *Fusarium oxysporum* f sp. *lactucae* and *F. oxysporum* f sp. *basilici* (from Lopez *et al.*, 2014).

Lattuga/ <i>Foxysporum</i> f.sp. <i>lactucae</i>		Basilico / <i>Foxysporum</i> f. sp. <i>basilici</i>	
Trattamento	Efficacia	Trattamento	Efficacia
Inoculato e non trattato	0,0(20,7%)*	Inoculato e non trattato	0,0 (19,5%)*
Acibenzolar-S-methyl	60,9	Prochloraz	55,4
Prochloraz	94,7	Thiram	68,2
Thiram	74,4	Santoreggia EO 10%**	64,1
Santoreggia EO 0,1%	51,7	Timo EO 10%**	63,6
Santoreggia EO 1%	86,0		
Timo EO 0,1%	76,3		
Timo EO 1%	83,1		
* Tra parentesi è indicata la percentuale di piante morte nel testimone non trattato.			
**Applicati per fumigazione.			

diretta influenza dell'ambiente acido sul patogeno oppure con un effetto negativo del pH basso sull'attività antagonistica della microflora del terreno verso il parassita (Elmer, 2012; Gullino *et al.*, 2012 a).

Le coltivazioni senza suolo, particolarmente quelle a ciclo chiuso, rappresentano una valida soluzione per limitare gli attacchi di funghi terricoli per le colture ad alto reddito e per questa ragione hanno trovato largo impiego nel Centro e Nord Europa e si stanno ora diffondendo in Italia. Tra i possibili inconvenienti derivanti da questo tipo di coltivazione vi è quello della rapida diffusione all'interno delle soluzioni circolanti di parassiti delle piante, *Fusarium oxysporum* inclusi, che si adattano facilmente alle condizioni ambientali tipiche di questo tipo di colture. Le problematiche fitopatologiche, estremamente ridotte rispetto a quelle delle normali colture in piena terra, possono risultare importanti e gravi quando un parassita raggiunge le soluzioni nutritizie, trovandovi le condizioni favorevoli al suo sviluppo. Fortunatamente oggi sono disponibili tecniche efficienti per la disinfezione della soluzione nutritizia, in particolare la filtrazione lenta su sabbia (Van Os *et al.*, 2000) che garantisce buoni risultati, quando effettuate correttamente. Sulla superficie dello strato filtrante si instaura un'attiva popolazione microbica (il cosiddetto filter skin), generalmente costituita da batteri (*Pseudomonas* spp. in particolare) e funghi (in larga maggioranza specie di *Trichoderma*), che riduce fortemente la possibilità di sopravvivenza di micelio e organi di moltiplicazione di patogeni diversi.

La diffusione di *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* miscelato artificialmente al substrato di coltivazione al momento del trapianto del pomodoro (cv Cuore di bue) è stata contenuta in modo significativo in presenza di un substrato a base di compost con una riduzione rispetto alla tesi testimone del 60-70%. Risultati parziali sono stati anche osservati con l'impiego di *Pseudomonas* spp. addizionati al terreno di coltivazione o introdotti in sospensione nella soluzione nutritizia (Clematis *et al.*, 2008).

La necessità di ridurre progressivamente l'utilizzo degli agrofarmaci ha portato a sviluppare tecniche alternative per contenere gli attacchi di patogeni fungini e, tra queste, l'utilizzo di silicati sembra essere molto promettente per il contenimento di patogeni tellurici e fogliari per diverse colture orticole (Gullino *et al.*, 2015 b) (Tabella 4). Anche se i meccanismi di azione non sono completamente noti, è stato dimostrato che piante appartenenti alle solanacee, leguminose e cucurbitacee trattate con silicati, accumulano grandi quantità di composti fenolici nelle pareti delle cellule fogliari e producono fitoalessine (Samuels *et al.*, 1991). L'effetto dell'aggiunta del silicato di potassio (Si) alla soluzione nutritizia (100 mg/l) è stato valutato in un sistema

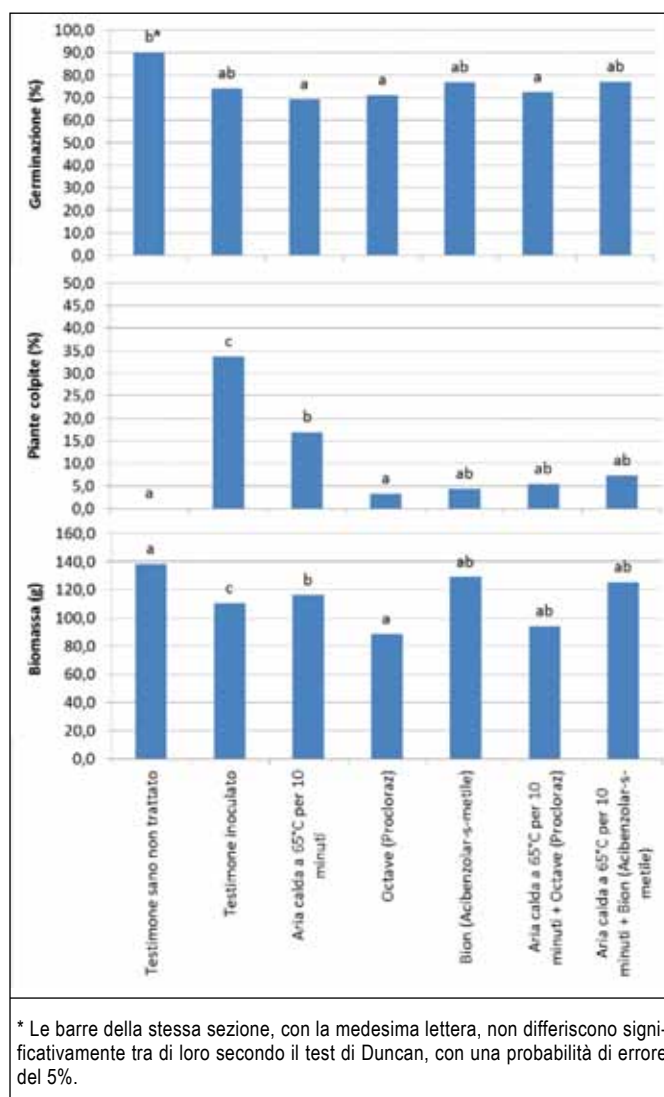


Figura 2 - Effetto di trattamenti con aria calda sulla germinazione, piante colpite e biomassa da semi di basilico cv Genovese Gigante inoculati artificialmente con *F. oxysporum* f. sp. *basilici* (da Lopez *et al.*, 2015).

Figure 2 - Effect of hot air treatments on germination, infected plants, and fresh biomass from basil cv. Genovese Gigante seeds artificially inoculated with *F. oxysporum* f. sp. *basilici* (from Lopez *et al.*, 2015).

fuorisuolo a ciclo chiuso considerando il patosistema pomodoro-*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, in presenza di soluzioni nutritizie e differenti conducibilità elettriche (EC1=1,5-2,0 mS cm⁻¹; EC2=3,9-4,0 mS cm⁻¹; EC3 5,0-5,5 mS cm⁻¹) e in presenza o assenza di silicato di potassio. La gravità dei sintomi

Tabella 4 – Effetto del silicato di potassio e della conducibilità elettrica della soluzione nutritizia nei confronti di *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* su pomodoro (cv Cuore di Bue) espresso come indice di malattia (da Gullino *et al.*, 2015).

Table 4 - Effect of potassium silicate and electrical conductivity against *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* on tomato (cv. Cuore di Bue) expressed as disease incidence (from Gullino *et al.*, 2015).

Silicato di potassio (100 ml/l)	Conducibilità elettrica (mS/cm)	Indice di malattia 0-100							
		Prova 1		Prova 2		Prova 3		Media di tre prove	
No	1,5-2	17,0	b*	42,0	d	33,8	b	30,9	ab
Si	1,5-2	7,5	a	23,0	ab	18,0	a	16,2	b
No	3,9-4	31,3	c	38,8	cd	35,0	bc	35,0	a
Si	3,9-4	21,5	b	27,5	a-c	22,0	ab	23,7	ab
No	5-5,5	20,0	b	37,0	cd	54,0	c	37,0	a
Si	5-5,5	16,3	b	18,0	a	16,0	a	16,8	b

*I valori della medesima colonna seguiti dalla stessa lettera non differiscono significativamente secondo il test di Tukey (p=0,05).

Tabella 5 - Effetto di trattamenti diversi sulla gravità della tracheofusariosi della lattuga, sulla sopravvivenza del patogeno e sulla popolazione microbica (funghi totali e *Pseudomonas*). I dati sono espressi come indice malattia (0-100) al termine del primo e del secondo ciclo di coltivazione, e come log CFU g⁻¹ della popolazione microbica (da Gilardi *et al.*, 2016 c).

Table 5 – Efficacy of different treatments against *Fusarium wilt* of lettuce, on pathogen survival and microbial population (total fungi and *Pseudomonas*). Data are expressed as Disease index (0-100) at the end of the first and second crop cycle, and as log CFU g⁻¹ of microbial population (from Gilardi *et al.*, 2016 c).

Trattamento	Dose	Inoculazione	Indice di malattia 0-100				Log CFU g ^{-1b} alla fine del II ciclo.					
			Ciclo 1		Ciclo 2		<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lactucae</i>		Funghi		<i>Pseudomonas</i> Totali	
Testimone non inoculato	-	No	0,0	a*	0,0	a			4,67	a-d	5,71	ab
Testimone inoculato-non trattato	-	Si	63,3	de	83,3	de	5,15	b	5,15	f	5,46	a
Sfarinato di Brassica	250 g/m ²	Si	24,6	b	23,6	b	4,49	a	4,49	a	7,25	f
<i>Brassica juncea</i> (Sovescio)	2,0 kg/m ²	Si	83,1	b	86,1	de	4,96	ab	4,96	c-f	6,36	c-e
<i>Brassica carinata</i> pellets	250 g/m ²	Si	22,9	B	29,9	bc	4,64	ab	4,64	a-c	7,68	f
Letame	10 kg/m ²	Si	51,4	cd	95,8	e	4,73	ab	4,73	a-d	5,95	bc
Pollina	1,5 kg/m ²	Si	36,2	bc	54,2	cd	4,60	ab	4,60	ab	6,37	c-e
Compost	10,0 kg/m ²	Si	32,5	b	74,3	de	5,18	b	5,18	f	6,68	de

*I valori della medesima colonna seguiti dalla stessa lettera non differiscono significativamente secondo il test di Tukey (p=0,05).

di tracheofusariosi a carico di pomodoro (cv Cuore di bue) è stata ridotta in modo significativo rispetto al testimone del 47-56% (EC1 + Si), del 31 -37% (EC2 + Si) e 51-70% (EC3 + Si), mentre le differenti conducibilità elettriche saggiate hanno avuto un effetto parziale nell'influenzare la gravità dei sintomi (Gullino *et al.*, 2015 b) (Tabella 4).

Almeno nel settore delle piante in vaso, la possibilità di distruggere le piante colpite e di eliminare il substrato facilita l'eradicazione a livello aziendale di patogeni con scarsa capacità di diffusione, come gli agenti di malattie vascolari.

Un interesse crescente è rivolto attualmente all'impiego di ammendanti organici in grado di limitare lo sviluppo di patogeni tellurici, agenti di tracheofusariosi inclusi; la biofumigazione, costituita dal sovescio di piante ad azione biocida con l'incorporamento nel terreno di grandi quantità di biomassa fresca (Matthiessen e Kirkegaard, 2006) rappresenta un caso interessante. In particolare la coltivazione e il sovescio di specie appartenenti alla famiglia della brassicacee permette l'apporto al terreno di sostanze ad elevata azione fungitossica: da questo fenomeno è nato il termine biofumigazione. La famiglia delle brassicacee si caratterizza per l'abbondante produzione di

metabolici secondari derivanti dalla degradazione enzimatica via mirosinasi di glucosinolati, sostanze naturali accumulate nei tessuti di queste piante (Lazzeri e Manici, 2000). Tali prodotti appartengono in larga parte agli isotiocianati, che sono in grado di svolgere nel terreno una significativa azione biocida per la lotta a numerosi parassiti vegetali ed animali (Gamliel e Stapleton, 1993). *Brassica juncea* e *B. carinata* possono essere impiegate come specie intercalari e quindi applicate come sovescio oppure, nel caso di sistemi colturali intensivi, utilizzate sotto forma di sfarinati o pellet (Tabella 5).

Un inconveniente comune sia al sovescio di brassicacee sia alla solarizzazione (vedi dopo) è la durata del trattamento; nel caso del sovescio, in particolare, è necessario mantenere il terreno impegnato per alcuni mesi per permettere la crescita delle colture di brassicacee da immettere nello stesso. E' stato, inoltre, dimostrato che alcune brassicacee impiegate nel sovescio possono essere ospiti suscettibili di agenti di tracheofusariosi (Lu *et al.*, 2010 a). Partendo da questo problema, recentemente sono state saggiate delle farine disoleate ottenute da *Brassica carinata* (Lazzeri *et al.*, 2004) applicate al terreno a dosi di 2-4 g/l. I risultati ottenuti sono simili a quelli forniti dal sovescio (Garibaldi *et al.*, 2010)

Tabella 6 - Effetto della biofumigazione e della solarizzazione simulata in cella climatica nei confronti di *Fusarium oxysporum* f.sp. *basilici* su basilico cv "Genovese gigante" e di *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* su cv Salad Bowl rossa (da Garibaldi *et al.*, 2010).

Table 6 - Effect of biofumigation and soil solarisation simulated in a climatic chamber against *Fusarium oxysporum* f.sp. *basilici* on basil cv. "Genovese gigante" *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* on the cv. Salad Bowl rossa (from Garibaldi *et al.*, 2010).

Trattamento termico (giorni)	Sfarinato di <i>Brassica carinata</i> incorporato nel terreno (g l ⁻¹)	% di piante di lattuga avvizzite		% di piante di basilico avvizzite	
		Prova 1	Prova 2	Prova 1	Prova 2
-	-	11,7 b*	48,5 c	28,9 b	42, bc
7	-	9,9 ab	2,4 ab	38,5 b	13,3 ab
14	-	6,3 ab	5,6 ab	14,2 ab	19,4 ab
21	-	0,0 a	-	0,0 a	-
-	2	4,3 ab	17,5 b	34,1 b	45,5 bc
7	2	2,0 ab	0,0 a	13,3 ab	3,9 a
14	2	0,7 a	2,6 ab	0,0 a	0,0 a
21	2	1,8 ab	-	0,0 a	-
-	4	2,4 ab	13,1 ab	22,2 ab	13,4 ab
7	4	6,3 ab	1,9 ab	0,0 a	13,5 ab
14	4	2,0 ab	5,9 ab	0,0 a	14,2 ab
21	4	0,4 a	-	0,0 a	-

*I valori della medesima colonna seguiti dalla stessa lettera non differiscono significativamente secondo il test di Tukey (p=0,05)

Tabella 7 - Effetto di trattamenti con ammendanti da soli e combinati con trattamenti termici di solarizzazione effettuata a temperature ottimali e sub-ottimali, sulla gravità della tracheofusariosi causata da *F. oxysporum* f. sp. *basilici* su basilico (ciclo I e II) (da Gilardi *et al.*, 2014 a).
 Table 7 - Effect of organic amendments alone, and combined with simulated optimal and sub-optimal thermal treatments, on disease severity caused by *F. oxysporum* f. sp. *basilici* on basil (ciclo I e II) (from Gilardi *et al.*, 2014 a).

Trattamento termico* [giorni]	Ammendanti e dose [g L ⁻¹]	Momento di applicazione degli ammendanti [giorni]**	Indice di malattia 0-100							
			Trattamento termico sub-ottimale				Trattamento termico a temperature ottimali			
			Ciclo I		Ciclo II		Ciclo I		Ciclo II	
Testimone inoculato e non trattato	-	-	52,9	cd ***	65,4	c	52,9	cd	65,4	c
7	-	-	4,7	a	12,3	ab	6,3	a	10,4	a
14	-	-	5,6	a	4,2	ab	7,0	a	0,9	a
-	<i>Brassica carinata</i> [2,5]	T0 ^a	40,4	c	55,0	c	40,4	c	55,0	c
-	Compost [4]		60,5	d	54,0	c	60,5	d	54,0	c
-	<i>B. carinata</i> + compost [2,5+4]	T0	22,1	b	27,8	b	22,1	b	27,8	b
7	<i>B. carinata</i> [2,5]	T0	7,8	a	15,9	ab	1,5	a	2,2	a
7	Compost [4]		1,1	a	7,8	ab	2,6	a	0,4	a
7	<i>B. carinata</i> + compost [2,5+4]	T0	6,3	a	21,0	ab	4,1	a	3,4	a
14	<i>B. carinata</i> [2,5]	T0	6,6	a	5,4	ab	2,2	a	0,6	a
14	Compost [4]		0,3	a	1,5	a	3,1	a	1,2	a
14	<i>B. carinata</i> + compost [2,5+4]	T0	4,6	a	0,3	a	5,4	a	2,1	a
7	<i>B. carinata</i> [2,5]	T7	5,0	a	12,7	ab	2,9	a	1,1	a
7	Compost [4]	T7	2,0	a	17,4	ab	6,4	a	9,8	a
7	<i>B. carinata</i> + compost [2,5+4]	T7	6,1	a	19,8	ab	2,2	a	2,3	a
14	<i>B. carinata</i> [2,5]	T14	7,5	a	3,6	ab	4,5	a	0,5	a
14	Compost [4]	T14	1,9	a	0,9	a	5,1	a	0,8	a
14	<i>B. carinata</i> + compost [2,5+4]	T14	0,4	a	3,3	ab	2,5	a	0,0	a

*Massima temperature a 10 cm di profondità del terreno trattato in simulazioni di temperature sub-ottimali (48°C per 6 ore, 43°C per 8 ore e 38°C per 10 ore) e temperature ottimali (52°C per 6 ore, 48°C per 8 ore e 45°C per 10 ore).

**T0 immediatamente prima di iniziare il trattamento termico; T7 e T14 immediatamente dopo il trattamento termico effettuato per 7 e 14 giorni.

***I valori della stessa colonna seguiti dalla medesima lettera non differiscono statisticamente tra loro con una probabilità di errore del 5% secondo il test di Duncan.

Tabella 8 – Suscettibilità di diverse selezioni di dimorfoteca (*Osteospermum* sp.) nei confronti di ceppi di *Fusarium oxysporum* f. sp. *chrysanthemi* isolati da vari ospiti (da Pensa *et al.*, 2007).
 Table 8 – Susceptibility of different selections of *Osteospermum* sp. against strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *chrysanthemi* obtained from different hosts (from Pensa *et al.*, 2007).

Cultivar	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>chrysanthemi</i> : ceppi impiegati (e ospite da cui sono stati ottenuti)					
	ATCC 52422 (crisantemo)	MAR-2 (dimorfoteca)	MAR (dimorfoteca)	MASS 6 (gerbera)	QUA 1 (margherita)	REP 8 (crisantemo)
Brightside	R	R	R	R	R	R
Cassis	PR	R	PR	R	PR	PR
Countryside	PR	S	S	R	MS	PR
Dark purple	PR	R	PR	n.s.**	R	R
Kalanga lavender	PR	AS	AS	AS	AS	AS
Kalanga rosy	PR	AS	AS	PR	S	S
Kalanga white	R	PR	PR	R	R	R
Lubango	S	AS	AS	S	S	AS
Malindi	R	AS	AS	MS	AS	AS
Nasinga cream	R	PR	PR	R	R	R
Nasinga purple	PR	R	R	R	R	R
Nasinga white	R	R	R	R	PR	PR
Orania peach	MS	AS	AS	S	AS	AS
Pink + eye	R	AS	AS	AS	AS	AS
Seaside	R	PR	R	PR	R	R
Spider cream	R	R	R	R	R	R
White	R	R	R	R	PR	R
Wildside	S	AS	AS	AS	AS	AS
Zaire	PR	MS	PR	PR	MS	PR
Zulu	R	R	R	R	PR	PR

*R = resistente; PR = parzialmente resistente; MS = mediamente sensibile; S = sensibile; AS = altamente sensibile.

**n.s. = non saggiata.

Tabella 9 - Suscettibilità di diverse selezioni di gerbera nei confronti di ceppi di *Fusarium oxysporum* f. sp. *chrysanthemi* isolati da gerbera e da crisantemo (da Bertetti *et al.*, 2010).

Table 9 – Susceptibility of different selection of gerbera against strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *chrysanthemi* isolated from gerbera and *chrysanthemum* (from Bertetti *et al.*, 2010).

Cultivar	Reazione*	Cultivar	Reazione	Cultivar	Reazione
Advance	S	Finola	R	Passion	S
Alfred	PR	Floriade	PR (R)	PinkElegance	R
Antonio (3001-330)	PR	Floyd	R	Pinkysprings	PR
Arianna	R (PR)**	Fredonzelle	R	Primadonna	AS
Axxion	PR	Friends 99.068	R	Purplesprings	R (PR)
Bahia 98600	PR	G272 (Biancarancio)	PR	Redfashion	R
Belladonna	S	G279 (Lilla)	R (PR)	Redstar	R (PR)
BlackJack	R	G53Maxx	PR	RubyRed	R (PR)
Cadil 01.009	PR	Galileo	R	Sahara	R
Carambole	S	Ginger	R (PR)	Schumy	R
Cariba	R	GV116	R	Shakira	PR (R)
Carillon	R (PR)	Hamlet	R	Sharky	R
Cassiana	PR	Hapour MOZ.501	S	Snowdance	R
Charleston	S	Happyhour	S	Soleada	PR (R)
Cirillo	S	Highfive	PR	Sombrero (3001-14)	R
Conga	S	Honduras	R	Soul	R
Corazon	S	Hope	R	Spitfire	R
Cornice	PR	Isaac	R	Stephanie	PR
Cyrano	PR	Jaska	S	Sunway	PR
Dalma	AS	Loriana	R	TerraGina	R
Dameblanche	R	Malibù	R	TropicBlend	PR
Dino	S	Marlene	R (PR)	Tucano	PR (R)
Duchessa	R	Meriva	S	Varenne	R
Duchessarosa	PR	Mexx	PR (R)	Villasar	R
Dune	S	MontBlanc	R	Virginia	S
Evergreen	PR (R)	Napoli	R (PR)	Yellowsprings	PR
Excellence	S	Natasha	PR	Yucatan	S
F43- (Rosso)	PR	Nicole	R	Zembla	R
F84 (Lilla)	R (PR)	Okey	R (PR)	Zenith MOO599	R
F99 (Crema)	R	Paintball	R	Zeppelin	R
* R = resistente; PR = parzialmente resistente; MS = mediamente suscettibile; S = suscettibile.					
** Tra parentesi la classe di suscettibilità nei confronti di <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>chrysanthemi</i> isolato da crisantemo, quando differente dall'isolato da gerbera.					

(Tabella 6). Questo tipo di trattamento potrebbe quindi sostituire il sovescio in serra, dove è economicamente difficile pensare alla coltivazione per qualche mese di una specie intercalare da interrare a fine ciclo colturale.

La combinazione di due settimane di solarizzazione con l'impiego di un sfarinato disoleato di *B. carinata* è di indubbio interesse nelle colture protette, perché l'uso della biofumigazione permetterebbe di rendere maggiormente applicabile la solarizzazione negli ambienti serricoli italiani con positivi effetti anche in condizioni termiche non ottimali (Tabella 7) (Gilardi *et al.*, 2014 b).

Un altro modo di indurre repressività in un substrato è quello di arricchirlo con un compost. E' noto da lungo tempo il potenziale effetto del compost nel ridurre la gravità delle alterazioni causate da patogeni tellurici, aspetto confermato in diverse condizioni anche se con effetti differenti in termini di efficacia (Tabelle 7 e 8). Anche se i meccanismi di induzione di resistenza dei compost sono poco chiari, è stato dimostrato il loro positivo effetto nei confronti di agenti di tracheomicosi ma anche di altri patogeni. Di particolare interesse risulta proprio l'uso di compost repressivi nei confronti di agenti di tracheofusariosi. In prove condotte in presenza di inoculazione artificiale, e di conseguenza di elevata pressione della malattia, è emersa una riduzione significativa

della gravità degli attacchi di *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* applicando in pre-trapianto della lattuga il pellet di *B. carinata* a 250 g/m² (riduzione compresa tra il 64% e il 79%) e un compost selezionato (riduzione tra il 49% e il 67%), mentre, il sovescio, il letame e la pollina hanno fornito un parziale contenimento della malattia (riduzione compresa tra il 20 e 34%) (Gilardi *et al.*, 2016 c) (Tabella 5).

Lotta genetica

Tra le misure di lotta di tipo preventivo, un aspetto che meriterebbe di essere preso in maggiore considerazione è la possibilità di utilizzare come mezzo di lotta la resistenza genetica. È stato osservato, infatti, che la suscettibilità delle piante ornamentali e da fiore e di quelle da orto ad alcune malattie varia notevolmente tra specie affini (variabilità interspecifica) e in alcuni casi tra varietà o cloni della stessa specie (variabilità intraspecifica). Tuttavia, ciò che spesso scoraggia l'impiego della selezione e, più in generale, della resistenza genetica come mezzo di lotta alle malattie delle colture ornamentali e orticole è proprio l'estrema dinamicità di questo settore, nel quale la lista di specie o varietà coltivate viene rapidamente e continuamente aggiornata. Spesso, inoltre, in particolare nel caso delle piante ornamentali, le specie o varietà

Tabella 10 – Elenco delle cultivar tolleranti agli agenti di tracheofusariosi della lattuga e della rucola (da Gilardi *et al.*, 2007 a; 2014; Scott *et al.*, 2010 b).

Table 10 – List of lettuce and rocket cultivars resistant to *Fusarium* wilts (from Gilardi *et al.*, 2007 a; 2014b; Scott *et al.*, 2010 b).

LATTUGA		RUCOLA	
Cv di lattuga resistenti o parzialmente resistenti a <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lactucae</i> razza1	Ditta Sementiera	Cv di rucola parzialmente resistenti alla tracheofusariosi	Ditta sementiera
Edmonton, Antigua, Campari, Luberon, Red salad bowl, Casabella, Bionda di Parigi	Royal Sluis	Rucola selvatica	Orosem
Scenic, Copacabana	ISI	Rucola selvatica	Franchi
Salad bowl rossa	Agrisem	Rucola selvatica	Mazzocchi
Lattuga Lesolina, Rubin	Asgrow	Rucola selvatica a foglia frastagliata	SAIS
Rubin, Duna	Olter	Rucola selvatica a foglia frastagliata	ISI Sementi
Romasol	Enza Zaden	Rucola coltivata a fogli frastagliata	SAIS
Giorgia, Lattughino biondo,	T&T	Rucola selvatica 'Grazia', 'Reset'	Maraldi
Bentley, Irazu, Teide, Solace, Bavert, Rebato	Nunhems	'Standard'	Olter
Romana lentissima a montare, Romana Grettana	Four		
Natexis, Susybel, Aquarel e Loribel, Summerbel	Cora seeds		
Lattuga Bionda Parigi	Franchi		
Signorella, Lentissima a montare 3	La SemiOrto		
Bataser, Samba	Maraldi		
Biondyne	Orosem		
Romabella	Rijkswaan		
Caesar, King Henry, Lollo rossa, Red rossa	Cultivate in California		

resistenti sono meno pregiate, dal punto di vista commerciale, di quelle suscettibili e non incontrano il favore del mercato e, di conseguenza, quello dei produttori (Gullino *et al.*, 2015 a).

Nel caso delle ornamentali, l'estrema variabilità del *Fusarium* del garofano non facilita il miglioratore genetico nel tentativo di inserire, nelle cultivar commerciali, la resistenza totale o, almeno, parziale nei riguardi di questo patogeno; l'ottimo lavoro svolto dagli ibridatori liguri di garofano ha comunque portato, negli ultimi anni, ad un numero crescente di cultivar di questa pianta resistenti nei confronti dei patotipi più comuni. In particolare, la resistenza nei confronti dei patotipi 1 e 8 risulta abbastanza diffusa, tra le nuove cultivar, mentre la maggioranza delle cultivar risulta ancora suscettibile o altamente suscettibile nei confronti dei patotipi 2 e 4 (Garibaldi e Gullino, 2012 a).

Come si può osservare nelle tabelle 8 e 9, spesso numerose delle cultivar saggiate di dimorfoteca (Pensa *et al.*, 2007) (Tabella 8) e gerbera (Tabella 9) presentano livelli di resistenza soddisfacenti nei confronti della tracheofusariosi (Figura 3), riuscendo così a soddisfare le esigenze dei floricoltori (Bertetti *et al.*, 2010; Garibaldi e Gullino, 2012 b). L'uso di tali varietà considerato in uno schema di gestione della difesa che comprenda anche i mezzi chimici e quelli biologici può risultare interessante.

Anche nel caso di alcune delle colture orticole prese in esame in questa nota, in particolare lattuga e rucola (Tabella 10) esistono sul mercato cultivar resistenti nei confronti di alcuni dei principali parassiti. L'impiego di cultivar resistenti costituisce per l'operatore la scelta più valida sotto il profilo tecnico ed economico. Secondo quanto emerso nel corso di prove condotte, saggiando la suscettibilità di cultivar di lattuga nei confronti di *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* e di rucola verso *Fusarium oxysporum* ff. spp. *raphani* e *conglutinans* (Tabella 10), il lavoro degli ibridatori sembra dare i primi frutti nei confronti della tracheofusariosi della lattuga, rendendo disponibili agli operatori cultivar rispondenti alle esigenze del mercato e parzialmente o totalmente resistenti (Gilardi *et al.*, 2007 a e 2014 a; Scott *et al.*, 2010; Matheron e Gullino, 2012). Su rucola, coltivata e selvatica, l'impiego di cultivar resistenti o tolleranti rappresenta

una soluzione soltanto parziale. Le diverse cultivar di *Eruca vesicaria* presenti sul mercato sementiero italiano risultano comunque suscettibili alla malattia, mentre diversa è la situazione osservata per gli ibridi coltivati di *Diplotaxis tenuifolia*. Va detto che, anche nel caso di *E. vesicaria* e di *D. tenuifolia*, l'industria sementiera sta attuando intensi programmi di miglioramento genetico che stanno fornendo i primi risultati, anche se poche sono finora le varietà resistenti o tolleranti alla malattia. I risultati ottenuti mettono comunque in evidenza la possibile presenza di una specializzazione parassitaria nell'ambito degli isolati di *F. oxysporum* ottenuti da rucola (Gilardi *et al.*, 2014 a). Nel caso della valerianella nessuna delle cultivar disponibili sul mercato pare resistente ai diversi isolati di *F. oxysporum* f.sp. *raphani* (Gilardi *et al.*, 2014 a), mentre per lo spinacio, un intenso lavoro di miglioramento genetico ha portato, negli U.S.A., allo sviluppo di cultivar resistenti nei confronti della tracheofusariosi (Goode *et al.*, 1988).

Assai intensa, soprattutto in Israele (Reuveni *et al.*, 1997; Dudai *et*



Figura 3 - Sintomi di tracheofusariosi su gerbera.
Figure 3 - Symptoms of *Fusarium* wilt on gerbera.

Tabella 11 – Alcuni portainnesti disponibili per solanacee (da Morra e Bilotto, 2010).
 Table 11 - Some rootstocks available on the market for solanaceous crops (from Morra and Bilotto, 2010).

Portainnesto	Ditta	Resistenze/tolleranze dichiarate
Arnold	Syngenta Seeds	<i>Fulvia fulva</i> (Razze 1-5) <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Razze 1,2) <i>F.oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> <i>Verticillium dahliae</i> e <i>V. albo-atrum</i> Virus a mosaico del pomodoro (Razze 0-2)
Beaufort Maxifort Optifort Unifort	De Ruiter	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Razze 0,1) <i>F.oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> <i>Verticillium dahliae</i> e <i>V. albo-atrum</i> Virus a mosaico del pomodoro (Razze 0-2) Nematodi (<i>Meloidogyne arenaria</i> ; <i>M. javanica</i> ; <i>M. incognita</i>) <i>Pyrenochaeta lycopersici</i>
Big Power	Rijk Zwaan	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Razze 0,1)
Brigeor	Gautier	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> <i>Verticillium dahliae</i> e <i>V. albo-atrum</i> Virus a mosaico del pomodoro (Razze 0-2)
Natalya	Esasem	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Razze 0,1,2) <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis lycopersici</i> <i>Verticillium dahliae</i> e <i>V. albo-atrum</i> Virus a mosaico del pomodoro (Razze 0-2)
V294	Vilmorin	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Razze 0,1) <i>Verticillium dahliae</i> e <i>V. albo-atrum</i> Virus a mosaico del pomodoro (Razze 0-2)

al., 2002; Chaimovitch *et al.*, 2006) e in Brasile (Reis *et al.*, 2008), è la ricerca di cultivar di basilico resistenti alla tracheofusariosi (Figura 4). Alcune tra le varietà selezionate come la cv Nufar, incominciano ad essere commercialmente interessanti anche se risulta difficile, almeno al momento, pareggiare la qualità della cv “Genovese gigante” cui il consumatore italiano è abituato (Gullino *et al.*, 2012 b). La ricerca in questo settore è intensa anche nelle aziende sementiere italiane. Al momento sono state ottenute varietà dotate di una parziale resistenza a *F. oxysporum* f. sp.



Figura 4 - Sintomi di tracheofusariosi su basilico.
 Figure 4 - Symptoms of *Fusarium* wilt on basil.

basilici, ma sono necessari ulteriori sforzi da parte degli ibridatori per selezionare cultivar di basilico tolleranti alla tracheofusariosi e rispondenti alle caratteristiche organolettiche specifiche per la produzione di pesto di qualità (Gilardi *et al.*, 2014 c).

Bisogna, comunque, considerare che la resistenza genetica da sola non riesce a risolvere integralmente i problemi causati da parassiti del terreno. Infatti la comparsa sul mercato di varietà resistenti a uno o più parassiti non garantisce dalla diffusione di altri agenti di malattia contro i quali le piante si comportano come suscettibili. È questo un fenomeno assai frequente nel caso delle tracheofusariosi: su molte colture si selezionano nel tempo razze fisiologiche di *Fusarium oxysporum* diverse da quelle presenti originariamente e contro le quali erano state selezionate le cultivar resistenti. Nel caso ad esempio di *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* in Italia è presente, attualmente, soltanto la razza 1 contro la quale si sta attrezzando l'industria sementiera per produrre cultivar resistenti, ma sono già state individuate altre due razze in Asia in grado di superare la resistenza inserita nelle cultivar di lattuga nostrane (Gilardi *et al.*, 2014 a) e recentemente una nuova razza è stata individuata in Olanda (Gilardi *et al.*, 2016 b).

Un impiego particolare della resistenza che trova sempre più ampia applicazione nel nostro Paese nel settore orticolo è l'uso di piante innestate su portainnesti resistenti. Questa tecnica sembra tornata di particolare attualità in quanto può essere combinata con altre strategie (fumigazione, biofumigazione, uso di mezzi biologici...) al fine di contenere tutti i parassiti del terreno. Negli ultimi anni il numero di piante di pomodoro, melanzana, melone, anguria innestate su piede resistente è notevolmente aumentato e raggiunge le decine di milioni. Numerosi e interessanti sono i portainnesti disponibili (Morra e Bilotto, 2010) (Tabella 11). Essendo questi portainnesti resistenti ad alcuni parassiti terricoli (in particolare alcune *formae speciales* di *Fusarium oxysporum* e a *Verticillium dahliae*) la loro diffusione nel territorio nazionale ha rapidamente comportato il manifestarsi di alcuni nuovi problemi. Il *Solanum torvum*, impiegato come portainnesto per la melanzana e considerato resistente a *V. dahliae*, ha manifestato una non completa resistenza a questo parassita (Garibaldi *et al.*, 2005), mentre recenti sono le osservazioni di *V. dahliae* su pomodoro innestato sull'ibrido interspecifico ‘Beaufort’ (Gilardi *et al.*, 2017). Precedenti osservazioni hanno evidenziato che

Tabella 12 - Suscettibilità di portainnesti del pomodoro in presenza di inoculazione artificiale di patogeni tellurici selezionati (da Gilardi *et al.*, 2012).

Table 12 - Disease reaction of different tomato rootstocks screened for resistance to different soil-borne pathogens (from Gilardi *et al.*, 2012).

Portainnesti	FOL Razza 1 (Codice Pallara)		FOL Razza2 (Codice CBS)		Rhizoctonia solani (Codice Agr1T)		FORL (codice Protector)		Verticillium dahliae (codiceVD1)	
	15"	30	15	30	15	30	15	30	15	30
He-Man	PR***	R	PR	R	R	R	R	R	R	R
Maxfort	R	R	R	R	PR	R	R	R	R	R
Beaufort	PR	R	PR	R	PR	R	R	R	R	R
Unifort	R	R	R	R	PR	R	R	R	R	R
Arnold	R	R	R	R	PR	R	R	R	R	R
Natalya	R	R	R	R	S	PR	R	R	R	R
Spirit	PR	R	PR	R	PR	R	R	R	R	R
-***	HS	HS	HS	HS	S	S	HS	S	S	PR
* <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> (FOL); <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>radicis-lycopersici</i> (FORL).										
**Età delle piante artificialmente inoculate(giorni).										
*** R = Resistente (indice di malattia 0–10); PR = Parzialmente resistente (indice di malattia 11–30); S = Mediamente suscettibile (indice di malattia 31–60); HS = Altamente Suscettibile (indice di malattia 61–100).										
****Riferimento suscettibile cv. Cuore di bue (Furia sementi).										

i portainnesti impiegati su pomodoro (ibridi interspecifici e intraspecifici di specie del genere *Solanum*) risultano suscettibili nei confronti di *Colletotrichum coccodes* (Minuto *et al.*, 2008).

Ciò implica la necessità di ricorrere all'integrazione di metodi di lotta diversi combinati con l'impiego di piante innestate. I risultati di sperimentazioni condotte in condizioni controllate

Tabella 13 – Influenza di trattamenti di termoterapia con immersione in acqua calda (25, 50 e 52,5°C) e concia con fungicidi sulla germinazione e sulla gravità degli attacchi di *F. oxysporum* f. sp. *gladioli* su iris cv Ideal (da Migheli e Garibaldi, 1990).

Table 13 - Effect of hot water treatments (25, 50 e 52,5°C) and seed treatment with fungicides on germination and disease index of iris cv. Ideal with *F. oxysporum* f. sp. *gladioli* (from Migheli e Garibaldi, 1990).

Trattamento	Immersione in acqua (°C) e dose (g/l)	% piante emerse		Indice di malattia 0-100	
Testimone non inoculato	-	93	hi*	21	il
Immersione in acqua	25°C	46	ab	90	a
Benomyl+procloraz	25°C- 4+3	56	a-d	49	d-g
Benomyl+procloraz	25°C- 2+1,5	78	d-g	35	g-i
Benomyl+procloraz	25°C- 1+0,75	60	a-e	52	c-g
Benomyl+procloraz	25°C- 0,5+0,5	52	ab	55	c-f
Diclofuanide + benomyl	25°C- 2+2	63	a-e	42	e-h
Diclofuanide + procloraz	25°C- 2+1,5	62	a-e	49	d-g
Clortalonil + benomyl	25°C- 2+2	55	a-c	70	bc
Clortalonil + procloraz	25°C- 2+1,5	49	ab	66	b-d
Immersione in acqua	50°C	41	a	80	b
Benomyl+procloraz	50°C- 4+3	89	g-i	20	il
Benomyl+procloraz	50°C- 2+1,5	92	g-i	17	l
Benomyl+procloraz	50°C- 1+0,75	91	g-i	21	il
Benomyl+procloraz	50°C- 0,5+0,5	82	g-i	28	h-l
Diclofuanide + benomyl	50°C- 2+2	95	l	15	i
Diclofuanide + procloraz	50°C- 2+1,5	84	f-h	28	hl
Clortalonil + benomyl	50°C- 2+2	91	g-i	17	l
Clortalonil + procloraz	50°C- 2+1,5	81	e-h	20	il
Immersione in acqua	52,5	63	a-e	62	cd
Benomyl+procloraz	52,5°C- 4+3	48	Ab	79	b
Benomyl+procloraz	52,5°C- 2+1,5	65	b-f	59	c-e
Benomyl+procloraz	52,5°C- 1+0,75	61	a-e	55	c.f
Benomyl+procloraz	52,5°C- 0,5+0,5	77	c-g	49	d-g
Diclofuanide + benomyl	52,5°C- 2+2	64	a-f	62	cd
Diclofuanide + procloraz	52,5°C- 2+1,5	82	e-h	26	h-l
Clortalonil + benomyl	52,5°C- 2+2	78	d-g	39	f-h
Clortalonil + procloraz	52,5°C- 2+1,5	82	e-h	41	e-h

*I valori della medesima colonna seguiti dalla stessa lettera non differiscono significativamente secondo il test di Duncan (p=0,05).

Tabella 14 - Effetto del tempo (minuti) di esposizione a 55, 60, 65 e 70°C ($\pm 1,5$) °C sulla sopravvivenza delle clamidospore di *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FoL); *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* (Fl); *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* (Fd); Fb *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilici* (Fb) (da Gilardi *et al.*, 2007c).

Table 14 - Effect of the exposure time to 55, 60, 65 e 70°C ($\pm 1,5$) °C on the survival of chlamidospores of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FoL); *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* (Fl); *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* (Fd); *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilici* (Fb) (from Gilardi *et al.*, 2007 c).

Durata del trattamento (minuti)	Temperatura di esposizione (°C)															
	55°C				60°C				65°C				70°C			
	Fol	Fl	Fd	Fb	Fol	Fl	Fd	Fb	Fol	Fl	Fd	Fb	Fol	Fl	Fd	Fb
Testimone non trattato	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	99,27	100	100
2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	99,97	99,9	99,79	99,71	100	100	100	100
5	96,55	96,6	98,58	97,76	99,96	99,72	99,90	99,89	99,99	99,9	99,96	99,93	100	100	100	100
10	98,72	98,66	99,47	99,07	100	99,80	100	100	100	100	100	99,97	100	100	100	100
20	99,32	99,79	99,77	99,31	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
40	99,91	99,97	99,97	99,93	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
* Percentuale di efficacia rispetto al testimone non trattato.																
**Non saggiato.																

coltivando i portainnesti disponibili sul mercato in presenza di inoculazioni artificiali di *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (razze 1 e 2), *F. oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*, *Verticillium dahliae* e *Rhizoctonia solani* (tutti patogeni isolati da piante di pomodoro colpite in campo), hanno evidenziato un generale effetto positivo di tale pratica nei confronti delle tracheomicosi, mentre la reazione dei diversi portainnesti agli agenti di marciume del colletto risulta fortemente influenzata dall'età delle piante (Gilardi *et al.*, 2012) (Tabella 12).

Mezzi fisici di lotta

L'impiego della termoterapia, da sola e, soprattutto, combinata con dosi ridotte di fungicidi, sembra offrire interessanti prospettive nei trattamenti eradicanti su bulbo tuber di gladiolo infetti da *F. oxysporum* f. sp. *gladioli*. Temperature variabili dai 48 ai 52°C per durate di 30-60' forniscono i risultati migliori. Raramente, tuttavia, la sola termoterapia consente un contenimento completo della malattia. Combinando la termoterapia con l'impiego di fungicidi, si osserva un'azione combinata di estrema efficacia nell'inibire il fungo. Miscele di un benzimidazolico con prochloraz offrono ottimi risultati quando combinate con temperature di 50 °C (Migheli e Garibaldi,

1990) (Tabella 13). Nel caso di applicazione di trattamenti di termoterapia vanno, comunque, attentamente valutati la temperatura e i tempi di trattamento più adatti in relazione alla cultivar impiegata e al momento del trattamento, in quanto temperature troppo elevate possono inibire la germinazione dei bulbo-tuberi e/o determinare eccessivi ritardi nella fioritura. Va, peraltro, tenuto presente che qualsiasi trattamento termico determina un certo ritardo nella fioritura, anche se questa può, poi, risultare più abbondante alla fine del ciclo di raccolta (Gullino, 2012).

L'impiego di mezzi fisici, come già visto precedentemente, si è rivelato assai efficace nei trattamenti di concia di semi di lattuga e basilico (Figure 1 e 2).

La disinfezione a vapore rimane una tecnica assai efficace che è, però, limitata, a causa degli alti costi, alle colture più pregiate in ambiente protetto. Allo scopo di ridurre i costi di applicazione di questa tecnica sono state condotte prove volte a valutare la sensibilità alle alte temperature di clamidospore di diverse *formae speciales* di *Fusarium oxysporum*: con queste ricerche si è confermato che a 70 °C per 1-2 minuti sono sufficienti per uccidere le forme di resistenza degli agenti di tracheofusariosi di basilico, pomodoro, garofano e lattuga (Tabella 14). Sulla base di questi dati è emersa la possibilità di mettere a punto l'impiego di macchine semoventi generatrici di vapore capaci di operare su ampie superfici sia in serra sia in pieno campo (Gilardi *et al.*, 2007 c; Lu *et al.*, 2010 b). Considerando questi risultati, pare prossima la comparsa sul mercato di una macchina per la disinfezione del terreno con vapore in grado di soddisfare la necessità di ridurre i tempi di trattamento e i costi dello stesso, garantendo nello stesso tempo un buon contenimento di patogeni tellurici responsabili di gravi perdite di produzione in sistemi ortofloricoli intensivi (Figura 5).

La solarizzazione è un metodo parzialmente fisico, che risulta assai interessante per la disinfezione del terreno nelle aree geografiche in cui le temperature dei suoli possono raggiungere livelli sufficienti a devitalizzare i principali parassiti terricoli (e semi di infestanti) quando il trattamento è applicato per 4 settimane (Gullino e Garibaldi, 2012 b). La solarizzazione può, con successo, essere combinata con l'uso di dosi ridotte di fumiganti, con mezzi biologici, con la biofumigazione e con il compost (Tabella 7). La solarizzazione rappresenta, pertanto, una pratica sostenibile e di grande interesse per le colture prese in esame in questo articolo.



Figura 5 - Disinfestazione del terreno con vapore con una macchina semovente in campo.

Figure 5 - Steam disinfection by a self-propelled machine under field conditions.

Purtroppo il suo impiego trova una forte limitazione a causa della necessità di sospendere la coltivazione per un mese (nelle nostre condizioni luglio o agosto), in un periodo in cui alcune colture sono in atto (Gullino e Garibaldi, 2012 b).

Di particolare interesse soprattutto per le colture ornamentali è l'impiego della solarizzazione in bancale, per disinfestare terreni e/o substrati (Garibaldi e Gullino, 2012 b).

Disinfestazione chimica del terreno

Tra i prodotti disponibili per la disinfestazione chimica, ricordiamo la cloropicrina e i precursori di isotiocianato (metham sodio, metham potassio e dazomet), applicati mediante iniezione o irrigazione. La scelta del fumigante va effettuata in funzione del problema fitopatologico da affrontare, del tipo di terreno da trattare, dell'epoca del trattamento oltre che, naturalmente, del costo. Temperatura, umidità, struttura e condizioni fisiche del terreno sono tutti fattori critici nell'impiego efficace dei fumiganti. Ognuna di queste applicazioni va integrata, però, con la copertura del terreno con film plastici dotati di una bassa permeabilità ai gas (VIF). In questo contesto grande rilievo ha lo studio delle tecniche applicative dei generatori di metilisotiocianato (MITC), sostanze che possono rappresentare un fattore strategico per il mantenimento di una adeguata competitività del settore ortofloricolo, permettendo il conseguimento di risultati soddisfacenti già nel breve periodo. In particolare la ricerca è focalizzata sulle modalità di distribuzione dei formulati a base di MITC mediante l'uso di macchine ad iniezione o miscelazione al terreno e alla loro possibile combinazione con altri fumiganti. Il quadro normativo impone forti restrizioni alla registrazione e all'uso dei fumiganti (Regolamento di Esecuzione 359/ 2002 parte A) definendo la periodicità dei trattamenti (1 ogni tre anni sullo stesso sito), le modalità di distribuzione (iniezione nel terreno con macchine di nuova generazione e irrigazione mediante manichetta in presenza di film plastici virtualmente impermeabili) e le dosi di impiego (Reg. EC N. 1107/2007; Gazzetta ufficiale Unione Europea, 26/04/2012).

Il dimetildisolfato (DMDS) è un fumigante di recente sviluppo che probabilmente arriverà anche sul mercato italiano nei prossimi anni. Il suo principio attivo è una sostanza che già può essere prodotta naturalmente in terreni ammendati con residui freschi ottenuti dalla coltivazione di liliacee (Auger e Arnault, 2005) e crucifere, efficace nei confronti sia di funghi sia di nematodi (Gamliel e Stapleton, 1993). Il DMDS presenta un meccanismo d'azione certamente complesso avendo effetto sulla funzionalità mitocondriale e causando l'inibizione della citocromo-ossidasi (Charles, 2003). Un formulato a base di disolfuro di dimetile è stato saggiato in diverse prove sperimentali anche in Italia. Dai risultati ottenuti il DMDS da solo o in miscela con cloropicrina ha fornito buoni risultati contro la verticilliosi della melanzana e il marciume radicale da *Colletotrichum coccodes* del pomodoro, mostrando un positivo effetto anche nei confronti della tracheofusariosi della lattuga (Gilardi *et al.*, 2010; Gilardi *et al.*, 2015) (Figura 6). Alla dose di 60 g/m² il DMDS è risultato efficace nei confronti di fusariosi e nematodi del pomodoro (Garibaldi e Gullino, 2009). Trattandosi di un fumigante che non presenta problemi di natura ambientale o tossicologica, la sua comparsa sul mercato potrebbe contribuire a risolvere almeno parzialmente i problemi conseguenti alla proibizione del bromuro di metile (Papazlatani *et al.*, 2016). Ancora parzialmente da risolvere, purtroppo, il problema creato, soprattutto nel caso di impiego del prodotto in zone altamente abitate, dall'odore piuttosto sgradevole conseguente al trattamento del terreno.

La disinfestazione chimica del terreno può determinare, in qualche caso, squilibri microbiologici: ad esempio nel caso in cui

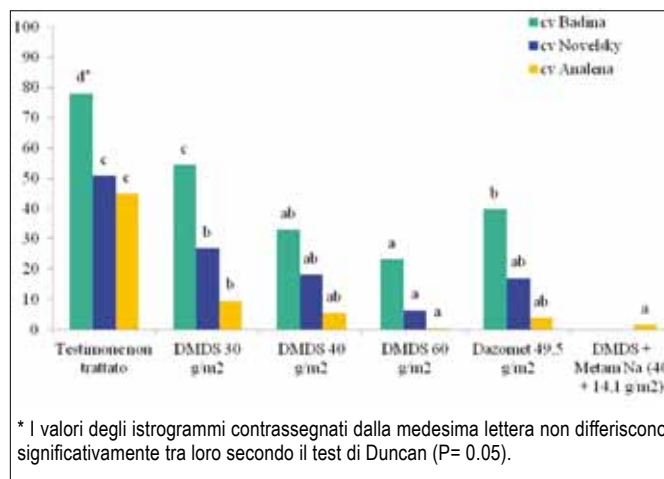


Figura 6 - Effetto di trattamenti di disinfestazione del terreno nei confronti di *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* su lattuga (cvs Badina, Analena e Novelsky)- Dati espressi come indice di malattia (0-100), 36-40 giorni dopo il trapianto (da Gilardi *et al.*, 2015).

Figure 6 - Effect of soil disinfection treatments against *Fusarium wilt* of lettuce (cvs Badina, Analena e Novelsky). Data are expressed as disease incidence (0-100) at the end of the trials (from Gilardi *et al.*, 2015).

si operi in terreni "repressivi" nei confronti delle fusariosi è stato dimostrato che interventi con dosi elevate di fumiganti possono ridurre fortemente questo fenomeno positivo. Va ricordato che l'impiego di alcuni fumiganti non è previsto dai disciplinari di produzione in vigore per le produzioni integrate ed è del tutto vietato in coltivazioni biologiche.

Lotta chimica e impiego di induttori di resistenza

Pochi fungicidi hanno consentito di contenere con efficacia gli attacchi di tracheofusariosi. Tra i più recenti, azoxystrobin, appartenente agli inibitori delle respirazione mitocondriale (QoI), con ampio spettro di azione (Sauter *et al.*, 1996) e con un meccanismo di azione differente da quello dei benzimidazolici, largamente impiegati nei confronti delle fusariosi vascolari in passato, risulta efficace. Esso può essere distribuito al trapianto per bagnatura del terreno a 1-2 g/m² oppure applicato a 0,25 g/litro di substrato, per la difesa della margherita (Figura 7), del ciclamino e del garofano dagli attacchi di *F. oxysporum* (Gullino *et al.*, 2002). In particolare, la selettività dell'azoxystrobin è un fattore di estremo interesse, soprattutto in floricoltura, ove l'elevato



Figura 7 - Sintomi di tracheofusariosi su margherita.
Figure 7 - Symptoms of *Fusarium wilt* on daisy.

Tabella 15 – Effetto di alcuni (3 o 4) trattamenti a partire dal vivaio nei confronti della tracheofusariosi della lattuga (cv Crispilla) e rucola (cv Coltivata). I dati sono espressi come indice di malattia (0-100) alla fine delle prove (da Gilardi *et al.*, 2016 a).

Table 15 - Effect of several (3 or 4) tray-treatments against *Fusarium* wilt of lettuce (cv. Crispilla) and rocket (cv. Coltivata). Data are expressed as disease incidence (0-100) at the end of the trials (from Gilardi *et al.*, 2016 a).

Lattuga											
Trattamento	Dose p.a, g L-1	Momento di applicazione	Indice di malattia 0-100				Momento di applicazione	Indice di malattia 0-100			
			Prova 1		Prova 2			Prova 1		Prova 2	
Testimone inoculato e non trattato	-		68,8	de ^a	55,6	gh	-	55,5	f ^a	61,3	b
<i>Bacillus subtilis</i> QST713	0,58	T0;T7; T14	48,8	cd	45,0	f-h	t0;t7; t14,t21	35,9	c-f	35,0	ab
<i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus velezensis</i>	0,4b	T0;T7; T14	53,8	cd	43,8	e-h	t0;t7; t14,t21	44,5	ef	36,9	ab
<i>Trichoderma asperellum</i> + <i>T. gamsii</i>	0,04	T0;T7; T14	43,8	b-d	38,8	d-h	t0;t7; t14,t21	43,0	ef	41,3	b
Acibenzolar-S-methyl	0,025	T0;T7; T14	30,0	a-c	26,9	a-f	t0;t7; t14,t21	20,3	b-d	30,6	ab
Acibenzolar-S-methyl	0,0125	T0;T7; T14	n,t		31,1	b-g	t0;t7; t14,t21	25,8	b-e	25,0	ab
Phosethyl-Al	1,6	T0;T7; T14	25,6	a-c	16,3	a-e	t0;t7; t14,t21	21,9	b-d	42,5	b
<i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Trichoderma</i>	0,08 ^b	T0;T7; T14	64,4	de	36,9	c-g	t0;t7; t14,t21	37,5	d-f	36,9	ab
Fosfito di potassio P:K 52:42	1,3+1,06	T0;T7; T14	31,3	a-c	5,7	ab	t0;t7; t14,t21	9,4	ab	41,3	b
Azoxystrobin	0,19	T14	16,9	ab	23,1	a-f	t14	14,8	ab	30,6	ab
Testimone non inoculato	-	-	0,0	a	0,0	a	-	0,0	a	0,0	a
Rucola											
Trattamento	Dose p.a, g L-1	Momento di applicazione	indice di malattia (0-100)				Momento di applicazione	indice di malattia 0-100			
			prova 1		prova 2			prova 1		prova 2	
Testimone inoculato e non trattato	-	T0;T7; T14	48,0	c**	54,4	d	-	63,8	e ^a	42,5	b
<i>Bacillus subtilis</i> QST713	0,58	T0;T7; T14	40,0	bc	32,5	bcd	t0;t7;t14,t21	30,0	b-d	22,5	ab
<i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus velezensis</i>	0,4b	T0;T7; T14	28,0	abc	31,9	bcd	t0;t7;t14,t21	35,0	cd	12,5	a
<i>Trichoderma asperellum</i> + <i>T. gamsii</i>	0,04	T0;T7; T14	20,0	abc	30,6	bc	t0;t7;t14,t21	40,0	d	15,0	a
Acibenzolar-S-methyl	0,025	T0;T7; T14	32,0	abc	23,1	bc	t0;t7;t14,t21	22,5	bc	15,0	a
Acibenzolar-S-methyl	0,0125	T0;T7; T14	12,0	ab	18,8	abc	t0;t7;t14,t21	20,0	bc	15,0	a
Phosethyl-Al	1,6	T0;T7; T14	12,0	ab	25,6	bc	t0;t7; t14,t21	27,5	bcd	10,0	a
<i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Trichoderma</i>	0,08 ^b	T0;T7; T14	28,0	abc	35,0	cd	t0;t7;t14,t21	33,1	cd	15,0	a
Fosfito di potassio P:K 52:42	1,3+1,06	T0;T7; T14	12,0	ab	22,5	abc	t0;t7;t14,t21	20,6	bc	17,5	ab
Azoxystrobin	0,19	T14	8,0	ab	10,0	ab	t14	15,0	ab	15,0	a
Testimone non inoculato	-	-	0,0	a	0,0	a	-	0,0	a	0,0	a
T0 in vivaio a partire dalla prima foglia vera e a intervallo di 7 giorni (T7 and T14) o applicato per irrorazione del terreno al trapianto della coltura in terreno artificialmente inoculato (T21).											
**I valori della medesima colonna seguiti dalla stessa lettera non differiscono significativamente tra loro secondo il test di Duncan con una probabilità di errore del 5%.											

numero di specie e cultivar utilizzate pone non pochi problemi per la scelta di principi attivi selettivi. Oggi, purtroppo, pochi fungicidi sono registrati per il contenimento delle tracheofusariosi delle ornamentali e bulbose (Gullino *et al.*, 2015 a).

L'uso alternato di agrofarmaci aventi diverso meccanismo d'azione, strategia raccomandata come buona pratica per la prevenzione di fenomeni di resistenza nelle popolazioni dei patogeni delle colture ortofloricole, è di difficile applicazione nei confronti degli agenti di tracheofusariosi. Tutto sommato più facile, oltre che interessante, risulta l'uso combinato di fungicidi e mezzi biologici. Esempi di successo dell'impiego di programmi di lotta integrata hanno previsto l'applicazione del mezzo biologico *Fusarium oxysporum* FO251/2 resistente ai benzimidazoli, di cui è nota l'efficacia contro numerose tracheofusariosi (Garibaldi *et al.*, 1986).

Nel caso delle orticole, in prove condotte in presenza di inoculazione artificiale degli agenti di tracheofusariosi della lattuga e della rucola i trattamenti eseguiti a partire dal vivaio utilizzando diversi induttori di resistenza e microrganismi antagonisti hanno mostrato un promettente effetto nel contenimento di questi agenti (Tabella 15). In presenza di una gravità della malattia medio-elevata, quando venivano effettuati tre trattamenti, il miglior contenimento della fusariosi su lattuga è stato fornito da acibenzolar-S-metil (44,4 al 70,6% di efficacia), dal prodotto a base di fosfiti (54,4 al

89,7% di efficacia), e di phosethyl-Al (45,1-70,7% di efficacia). Questi trattamenti sono stati efficaci come un'applicazione di azoxystrobin (37,5 al 75,4% di efficacia) (Gilardi *et al.*, 2016 a). Tra i microrganismi, *Bacillus velezensis*, *Trichoderma asperellum* + *T. gamsii* e *Bacillus subtilis* e il complesso microbico contenente *Glomus* spp. + *Bacillus megaterium* + *Trichoderma* hanno fornito un risultato parziale. Un trattamento aggiuntivo con *B. subtilis* e *T. asperellum* + *T. gamsii* ha, in generale, migliorato l'efficacia di questi prodotti (Tabella 15). *B. subtilis* e *T. asperellum* + *T. gamsii* hanno in generale fornito un miglior contenimento della tracheofusariosi della rucola quando impiegati in quattro trattamenti a partire dal vivaio con un'efficacia compresa tra il 48-52% e 37-65%, rispettivamente (Gilardi *et al.*, 2016 a).

Lotta biologica e prodotti naturali

Notevole interesse per le possibili applicazioni pratiche è stato suscitato negli ultimi anni dai terreni cosiddetti "Fusarium-repressivi". La repressività dei terreni è un fenomeno legato all'antagonismo microbico ed è principalmente dovuto all'azione esercitata da funghi saprofiti appartenenti al genere *Fusarium*. L'isolamento dei *Fusarium* antagonisti, responsabili della repressività e lo studio delle loro caratteristiche e del loro principale meccanismo di azione ha permesso di colonizzare terreni conduttivi (in cui cioè la tracheofusariosi si manifesta

Tabella 16 – Efficacia dell'impiego di microrganismi e diversi fungicidi in trattamenti di concia del seme di lattuga nei confronti della contaminazione da *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* (cv Crispilla) (da Lopez *et al.*, 2014).

Table 16 - Effectiveness of biocontrol agents and different fungicides applied as seed treatments of lettuce seed against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* (cv. Crispilla) (from Lopez *et al.*, 2014).

Trattamento	Dose p.a./kg semi	Concia	Efficacia*
Testimone non inoculato e non trattato	-	-	0,0 (27,7)***
Prochloraz	1.0 g	Umida	++++
Thiram	9.8 g	Umida	+++
<i>Bacillus subtilis</i> - QST 713	10.0 g	Umida	++
<i>Bacillus subtilis</i> BA41; <i>Streptomyces</i> sp. SB15; <i>Trichoderma harzianum</i> TH02; <i>Pseudomonas</i> <i>proradix</i> 10; <i>Glomus caledonium</i> GM24; <i>Glomus coronatum</i> GU53; <i>Gladius intraradices</i> GB67; <i>Trichoderma</i> spp.	2.0 g	secca	++
<i>Streptomyces griseoviridis</i> K61	8.0 g	Umida	+
<i>Streptomyces</i> spp. SB14; <i>Glomus coronatum</i> GO01; <i>Glomus coronatum</i> GU53; <i>Glomus caledonium</i> GM24; <i>Bacillus subtilis</i> SR63; <i>Pseudomonas</i> spp. PM46; <i>Ulocladium</i> spp. UO18	2.0 g	Umida	+
<i>Trichoderma asperellum</i> ICC 012+ <i>Trichoderma gamsii</i> ICC 080	2.0 g	Umida	++
<i>Glomus</i> spp. 5%+ <i>Bacillus megaterium</i> 10 ⁴ CFUg ⁻¹ + <i>Trichoderma</i> 10 ¹⁰ CFUg ⁻¹	2.0 g	Umida	++
<i>Pseudomonas</i> sp. FC6B (EU836173)	1 × 10 ⁷ CFU**	Umida	++
<i>Pseudomonas putida</i> FC7B (EU836174)	1 × 10 ⁷ CFU	Umida	+++
<i>Pseudomonas</i> sp. FC8B (EU836171)	1 × 10 ⁷ CFU	Umida	+++
<i>Pseudomonas</i> sp. FC9B (EU836172)	1 × 10 ⁷ CFU	Umida	+++
<i>Pseudomonas</i> sp. FC24B (EU836173)	1 × 10 ⁷ CFU	Umida	++
<i>Fusarium oxysporum</i> 251/2	1 × 10 ⁷ CFU	Secca	+++
<i>Fusarium oxysporum</i> MSA35	1 × 10 ⁷ CFU	Secca	++
*(±) efficacia rispetto al testimone 0-20%; (+) efficacia rispetto al testimone 21-40%; (++) efficacia rispetto al testimone 41-60%; (+++) efficacia rispetto al testimone 61-80%; (++++) efficacia rispetto al testimone 81-100%.			
**CFU Unità formanti colonia.			
*** Tra parentesi è indicata la percentuale di piante morte nel testimone non trattato.			

normalmente), sottoposti o meno a disinfezione, contenendo con successo gli attacchi di *F. dianthi* su garofano e di *F. cyclaminis* su ciclamino.

Fusarium antagonisti, isolati da terreni repressivi e attivi contro agenti di tracheofusariosi, sono utilizzabili nella lotta alla fusariosi del pomodoro, del melone, del basilico, anche in programmi di difesa integrata. La nostra esperienza condotta impiegando diversi microrganismi in condizioni controllate in vaso nei confronti della tracheofusariosi della lattuga hanno evidenziato un positivo effetto di riduzione compreso tra il 50 e il 75% con l'uso di formulati a base di *Trichoderma harzianum* T22 e della miscela di *T. asperellum* ICC012+*T. gamsii* ICC080 (Gilardi *et al.*, 2007 b). Assai intensa è, poi, la ricerca di sostanze di origine naturale o dell'impiego di microrganismi attivi da impiegare nei trattamenti di concia delle sementi (Tabelle 16 e 17): si è evidenziato che i trattamenti di concia umida di sementi di lattuga con *Pseudomonas* FC7B, FC8B e FC9B, ottenuti da substrati repressivi in fuori suolo, hanno fornito il medesimo effetto di contenimento di *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* dei trattamenti di concia eseguiti con il thiram e il procloraz (Lopez *et al.*, 2014).

L'efficacia di questi batteri ottenuti da terreni repressivi o da substrati riciclati per il fuori suolo è stata valutata nei confronti dell'agente della tracheofusariosi della rucola. I batteri sono stati miscelati al terreno con una o due applicazioni o utilizzati per immersione radicale delle piante al trapianto. Tali batteri, appartenenti ai generi *Pseudomonas*, *Achromobacter* e *Serratia* sono stati confrontati con due prodotti commerciali a base di *Trichoderma harzianum* e di *Pseudomonas chlororaphis*. Applicati mediante immersione radicale (10⁷ – 10⁸ CFU/ml di acqua) o per bagnatura del terreno (10⁸ – 10⁹ CFU/ml di terreno), i batteri isolati da sistemi fuori suolo hanno ridotto significativamente l'incidenza della fusariosi della rucola con una protezione che ha raggiunto in alcuni casi anche l'80%. Nello stesso tempo alcuni di questi

batteri hanno aumentato in modo significativo lo sviluppo delle piante di rucola (Srinivasan *et al.*, 2009) (Tabella 17).

Considerazioni conclusive

Questa nota ha cercato di evidenziare le problematiche causate negli ultimi anni dalla comparsa di nuovi agenti di tracheofusariosi su colture ornamentali e orticole, presentando anche i risultati di ricerche condotte per mettere a punto strategie di difesa efficaci. Gli esempi riportati hanno anche permesso di sottolineare la complessità dei problemi causati dalle tracheofusariosi e la necessità di una continua evoluzione delle strategie di difesa messe a punto.

L'uso di materiale di moltiplicazione sano o opportunamente trattato con le varie opzioni disponibili, rappresenta un pilastro delle strategie di difesa integrata. Un grosso aiuto può essere fornito, inoltre, dalla diagnostica molecolare e dagli studi filogenetici: la rapida individuazione di rapporti tra parassiti di nuova segnalazione e agenti di infezioni già individuati in altre parti del mondo potrebbe, infatti, attivare strategie preventive basate sul controllo fitosanitario del materiale propagativo. Ad esempio, gli studi condotti sull'agente della tracheofusariosi della lattuga hanno permesso di confermare la sostanziale identità degli isolati rinvenuti in Italia con quelli ritrovati in Giappone e negli Stati Uniti d'America e, di conseguenza, l'impostazione della lotta può essere identica.

La lotta genetica fornisce risultati interessanti e conforta verificare la presenza di cultivar interessanti anche nel caso di colture ornamentali.

Nel caso della tracheofusariosi della lattuga, l'impiego della resistenza genetica è la scelta tecnicamente ed economicamente consigliabile, anche se essa presuppone una continua attività di valutazione del materiale vegetale immesso sul mercato e un costante monitoraggio delle razze del patogeno presenti. Su rucola,

Tabella 17 - Efficacia di microrganismi applicati in vivaio per miscelazione al terreno nei confronti di *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* su rucola in condizioni controllate (da Srinivasan *et al.*, 2009).

Table 17 – Efficacy of microorganisms applied in nursery by soil mixing against *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* on rocket under controlled conditions (from Srinivasan *et al.*, 2009).

Trattamento	Origine del microrganismo	Dose CFU/ml di terreno	Indice di malattia (0-100)				
			BCA =t0 ^{**} F _{ox} = t0 lp=t7	BCA =t0 e t7 [*] F _{ox} = t0 lp=t7	BCA =t0 [*] F _{ox} = t7 lp=t7	BCA =t0 [*] F _{ox} = t7 lp=t14	BCA =t0 et7 [*] F _{ox} = t7 lp=t 14
<i>Achromobacter</i> sp. AM1	Simbiosi con fungo antagonista (<i>F.oxysporum</i> MSA35)	10 ⁷	30,0 bcd*	36,7 abcde	53,3 cde	85,0 c	40,0 bc
		10 ⁸	16,7 ab	15,0 ab	40,0 bcde	86,7 c	86,7 d
<i>Serratia</i> sp. DM1	Simbiosi con fungo antagonista (<i>F.oxysporum</i> MSA35)	10 ⁷	33,3 bcd	63,3 cdef	51,7 cde	90,0 c	58,3 bcd
		10 ⁸	16,7 ab	21,7 ab	18,3 ab	80,0 c	90,0 d
<i>Pseudomonas putida</i> FC6B	Fuori suolo	10 ⁷	53,3 de	23,3 ab	48,3 cde	76,7 c	33,3 ab
		10 ⁸	36,7 bcde	45,0 bcde	35,0 bcd	100,0 c	75,0 cd
<i>Pseudomonas</i> sp. FC7B	Fuori suolo	10 ⁷	43,3 cde	48,3 bcde	43,3 bcde	100,0 c	83,3 d
		10 ⁸	28,3 bcd	33,3 abcd	56,7 de	50,0 b	76,7 cd
<i>Pseudomonas putida</i> FC8B	Fuori suolo	10 ⁷	28,3 bcd	43,3 bcde	46,7 cde	90,0 c	80,0 cd
		10 ⁸	33,3 bcd	28,3 abc	48,3 cde	93,3 c	63,3 bcd
<i>Pseudomonas</i> sp. FC9B	Fuori suolo	10 ⁷	16,7 ab	40,0 bcde	28,3 bc	90,0 c	80,0 cd
		10 ⁸	21,7 abc	40,0 bcde	50,0 cde	86,7 c	83,3 d
<i>Pseudomonas</i> sp. FC24B	Fuori suolo	10 ⁷	40,0 bcde	73,3 ef	51,7 cde	100,0 c	56,7 bcd
		10 ⁸	21,7 abc	30,0 abc	43,3 bcde	86,7 c	68,3 bcd
<i>Cedomon - Pseudomonas chlororaphis</i>	Bluline	7.5x10 ⁶	38,3 bcde	71,7 def	41,7 bcde	93,3 c	56,7 bcd
Testimone inoculato	-	-	60,0 e	93,3 f	63,3 e	100,0 c	93,3 d
Testimone non inoculato	-	-	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a

* I valori della stessa colonna seguiti dalla medesima lettera non differiscono significativamente tra loro secondo il test di Duncan (P= 0.05).

**BCA: Momento di applicazione dell'antagonista; Fox. Momento di inoculazione del patogeno; lp periodo tra inoculazione (BCA+ Fox) e trapianto della coltura.

invece, la situazione attuale non permette di considerare la lotta genetica come la soluzione del problema della tracheofusariosi: il numero ridotto di varietà resistenti o tolleranti alla malattia renderebbe necessario un grosso sforzo da parte dell'industria sementiera volto a programmi di miglioramento genetico di *Diplotaxis tenuifolia* ed *Eruca vesicaria*.

La disinfestazione del terreno rientra, tra le strategie di difesa potenzialmente adottabili nella lotta a tutti i patogeni terricoli: la scelta è tuttavia vincolata, come già detto, a fattori economici, tecnici e normativi.

Di grande importanza sono tutti gli interventi agronomici volti a contenere l'incremento del potenziale di inoculo dei parassiti nel terreno. E' facile, infatti, prevedere che in un contesto di limitata disponibilità di mezzi chimici sarà sempre più necessario fare ricorso a metodi agronomici e genetici per contenere gli attacchi dei parassiti in generale.

Soprattutto nei sistemi culturali in ambiente protetto è aumentato l'interesse all'applicazione di strategie di lotta non convenzionali. A tale proposito, la resistenza indotta si basa su un sistema molto complesso di reazioni della pianta, che può essere indotto da agenti biotici o abiotici e che ha come effetto l'innalzamento delle capacità di difesa dell'ospite nei confronti dei patogeni, determinando la protezione sistemica dell'intero individuo (Walters e Fountaine, 2009). Gli induttori di resistenza sono facili e sicuri da applicare in vivaio e potrebbero rappresentare uno strumento efficace per la lotta ai patogeni terricoli, con particolare riferimento agli agenti di tracheofusariosi.

L'adozione combinata di mezzi di lotta diversi, nonostante complichino la gestione delle colture e talvolta provochi problemi di aumento dei costi, è l'unica strategia in grado di garantire una prospettiva di impiego a lungo termine. Grande attenzione dovrà essere rivolta nel prossimo futuro al miglioramento delle tecniche

di applicazione dei mezzi di difesa disponibili e alla formazione e aggiornamento dei tecnici operanti nel settore.

Ringraziamenti

Le ricerche riportate sono state svolte con finanziamenti della Regione Piemonte e della Commissione Europea nell'ambito del Programma Europeo Horizon 2020. (Progetti EMPHASIS No 634179 "Effective Management of Pests and Harmful Alien Species - Integrated Solutions" e EUCLID contratto No 633999 "EU-China cooperation on IPM in agriculture").

Lavoro presentato ai 31^{mi} Incontri Fitoiatrici (Albenga, 11 novembre 2016).

Riassunto

Questa nota prende in considerazione le numerose tracheofusariosi, causate da forme speciali differenti di *Fusarium oxysporum*, comparse in Italia negli ultimi 15 anni, evidenziando i motivi di tale diffusione e i problemi incontrati nella difesa. La lotta alle tracheofusariosi, così come per molte altre malattie causate da funghi terricoli, è al momento attuale difficile e assai costosa e va soprattutto impostata sull'adozione di misure preventive efficaci e su limitati interventi di lotta diretta. In pratica la difesa si basa sul ricorso a: 1) materiale di moltiplicazione sano e adatte tecniche colturali; 2) varietà resistenti, quando disponibili o, almeno, poco suscettibili al patogeno; 3) disinfestazione del terreno o del substrato di coltivazione; 4) mezzi fisici; 5) fungicidi durante la coltivazione; 6) mezzi di lotta biologica o prodotti cosiddetti naturali. La rassegna si concentra in modo particolare sui risultati ottenuti dalle ricerche del Centro di Competenza Agroinnova negli ultimi 15 anni.

Parole chiave: *Fusarium oxysporum*; tecniche colturali; lotta

genetica; lotta chimica; mezzi fisici; lotta biologica; difesa integrata

Summary

Prevention and management of *Fusarium* wilts of ornamental and vegetable crops

Many *Fusarium* wilts were reported in Italy on ornamentals and vegetables during the past 15 years; the reasons of such spread are considered, together with the problems encountered in their control. The management of *Fusarium* wilts is at present difficult, expensive and complicated by the presence of few effective and registered chemicals. It is based on the adoption of preventative measures and on the use of limited control methods. In practice, *Fusarium* wilt management relies on the use of: 1) healthy propagation material and proper cultural practices; 2) resistant varieties; 3) soil and substrate disinfection; 4) physical methods; 5) chemical control; 6) biological control agents and natural products. The results obtained by the Centre of Competence Agroinnova of the University of Torino, in controlling *Fusarium* wilts during the past 15 years are summarized and critically discussed.

Key words: *Fusarium oxysporum*; cultural practices; genetic control; chemical control; biological control; integrated disease management

Lavori citati

Auger J., Arnault I. (2005) - Les disulfures, pesticides naturels le cas du DMDS, disulfure de diméthyle. AEPP 7^{me} Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier 26-27 octobre 2005.

Bertetti D., Troisi M., Gullino M. L., Garibaldi A. (2010) - Suscettibilità varietale di alcune cultivar di gerbera alla tracheofusariosi. *Protezione delle Colture*, 2 (2) 74-89.

Bowers J. H., Locke J. C. (2000) - Effect of botanical extracts on the population density of *Fusarium oxysporum* in soil and control of *Fusarium* wilt in the greenhouse. *Plant Disease*, 84, 300-305.

Chaimovitch D., Dudai N., Putievsky E., Ashri A. (2006) - Inheritance of resistance to *Fusarium* wilt in sweet basil. *Plant Disease*, 90, 58-60.

Charles P. (2003) - DMDS: a new alternative for soil disinfections. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 23.

Clematis F., Minuto A., Gullino M. L., Garibaldi A. (2008) - Induced suppressiveness to *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis lycopersici* in perlite and perlite-peat substrates in closed soilless systems. *Phytoparasitica*, 35, 77-85.

Dudai N., Chaimovitch D., Reuveni R., Ravid V., Larkov O., Putievsky E. (2002) - Breeding of sweet basil (*Ocimum basilicum*) resistant to *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *basilicum*. In: Breeding Research of Aromatic and Medicinal Plants (Johnson C. B., Franz C. coord.). The Haworth Press, Inc., New York, 45-51.

Elmer W. H. (2012) - Cultural Practices. In: *Fusarium* wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.). APS Press, St. Paul, MN, US, 67-74.

Gamliel A., Stapleton J. (1993) - Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. *Phytopathology*, 83, 899-905.

Garibaldi A., Bertetti D., Martini P., Pensa P. (2015) - Patogeni emergenti nel settore delle colture aromatiche e ornamentali del Nord Italia. Atti 28^{mi} Incontri Fitoiatrici, Albenga, 8 ottobre 2015. *Protezione delle Colture*, 8 (4), 4-16.

Garibaldi A., Brunatti F., Gullino M. L. (1986) - Suppression of *Fusarium* wilt of carnation by competitive non-pathogenic strains of *Fusaria*. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent, 51, 633-638.

Garibaldi A., Gilardi G., Clematis F., Gullino M. L., Lazzeri L., Malaguti L. (2010) - Effect of green Brassica manure and Brassica defatted seed meals in combination with grafting and soil solarization against *Verticillium* wilt of eggplant and *Fusarium* wilt of lettuce and basil. *Acta*

Horticulturae, 883,36-40.

Garibaldi A., Gilardi G., Gullino M. L. (2014) - Critical aspects in disease management as a consequence of the evolution of soil-borne pathogens. *Acta Horticulturae*, 1044, 43-50.

Garibaldi A., Gullino M. L. (2009) - La disinfezione del terreno in ortofloricoltura: problemi e prospettive attuali. *Protezione delle colture*, 2 (1), 4-8.

Garibaldi A., Gullino M. L. (2010) - Emerging soilborne diseases of horticultural crops and new trends in their management. *Acta Horticulturae*, 883, 37-47.

Garibaldi A., Gullino M. L. (2012 a) - *Fusarium* wilt of carnation. In: *Fusarium* wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 191-198.

Garibaldi A., Gullino M. L. (2012 b) - *Fusarium* wilt of some ornamental compositae. In: *Fusarium* wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 205-211.

Garibaldi A., Minuto A., Gullino M. L. (2005) - *Verticillium* wilt incited by *Verticillium dahliae* in eggplant grafted on *Solanum torvum* in Italy. *Plant Disease Report*, 89, 777.

Gilardi G., Chen G., Garibaldi A., Zhiping C., Gullino M. L. (2007 a) - Resistance of different rocket cultivars to wilt caused by strains of *Fusarium oxysporum* under artificial inoculation conditions. *Journal of Plant Pathology*, 89,127-131.

Gilardi G., Demarchi S., Gullino M. L., Garibaldi A. (2014 a) - Varietal resistance to control *Fusarium* wilts of leafy vegetables under greenhouse. *Communications in agricultural and applied biological sciences* 79, 21-27.

Gilardi G., Demarchi S., Gullino M. L., Garibaldi A. (2014 b) - Effect of simulated soil solarization and organic amendments on *Fusarium* wilt of rocket and basil under controlled conditions. *Journal of Phytopathology*, 162, 557-566.

Gilardi G., Demarchi S., Gullino M. L., Garibaldi A. (2016 a) - Evaluation of the short term effect of nursery treatments with phosphite-based products, acibenzolar-S-methyl, pelleted *Brassica carinata* and biocontrol agents, against lettuce and cultivated rocket *Fusarium* wilt under artificial inoculation and greenhouse conditions. *Crop Protection* 85, 23-32.

Gilardi G., Franco Ortega S., van Rijswijk P. C. J., Ortu G., Gullino M. L., Garibaldi A. (2016 b) - A new race of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lactucae* of lettuce. *Plant Pathology*, 65, in stampa.

Gilardi G., Garibaldi A., Gullino M. L. (2007 b) - Effect of antagonistic *Fusarium* spp. and of different commercial biofungicide formulations on *Fusarium* wilt of lettuce. *Phytoparasitica*, 35, 457-465.

Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A., Baudino M. (2010) - Effectiveness of fumigants alone and in combination with grafting to control *Verticillium* wilt and root-knot nematodes in eggplant and tomato brown root rot caused by *Colletotrichum coccodes*. *Acta Horticulturae*, 883, 21-25.

Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A. (2012) - Reaction of tomato rootstocks to selected soil-borne pathogens under artificial inoculation conditions. *Acta Horticulturae*, 914, 345-348.

Gilardi G., Keiji S., Gullino M. L., Garibaldi A. (2007 c) - Disinfestazione fisica del terreno: osservazioni sulle temperature letali per alcuni agenti di tracheomicosi. *Informatore Fitopatologico - La Difesa delle Piante*, 57 (12), 47-52.

Gilardi G., Martano G., Garibaldi A., Gullino M. L. (2015) - Soil disinfection with dimethyl disulfide to control *Fusarium* wilt on lettuce. *Journal of Plant Pathology*, 97, 55.

Gilardi G., Martano G., Gullino M. L., Garibaldi A. (2005) - Resistenza di cultivar di lattuga a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Informatore Fitopatologico - La Difesa delle Piante*, 55 (6), 44-47.

Gilardi G., Matic S., Gullino M. L., Garibaldi A. (2017) - Osservazioni di una ridotta tolleranza alla verticilliosi del pomodoro innestato sull'ibrido interspecifico 'Beaufort'. *Protezione delle Colture*, 10 (2), in stampa.

Gilardi G., Pugliese M., Gullino M. L., Garibaldi A. (2016 c) - Effect of different organic amendments on lettuce *Fusarium* wilt and on selected soil-borne microorganisms. *Plant Pathology*, 65, 704-712.

Gilardi G., Starace M., Zappino M., Demarchi S., Gullino M. L., Garibaldi A. (2014 c) - Selezione di basilico genovese resistente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilici* per la produzione di pesto di qualità. *Protezione delle Colture*, 7 (3), 32-34.

- Gilardi G., Tinivella F., Gullino M. L., Garibaldi A. (2005) - Seed dressing to control *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. Journal of Plant Diseases and Protection, 112, 240-246.
- Goode M. J., Morelock T. E., Bowers J. L. (1988) - Fall Green spinach. Hort. Science, 23, 931.
- Gullino M. L. (2012) - Fusarium wilt of bulb crops. In: Fusarium wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 199-204.
- Gullino M. L., Daughtrey M. L., Garibaldi A., Elmer W. H. (2015 a) - Fusarium wilts of ornamental crops and their management. Crop Protection, 73, 50-59.
- Gullino M. L., Garibaldi A. (2012 a) - Fusarium wilts of minor ornamental hosts. In: Fusarium wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 221-225.
- Gullino M. L., Garibaldi A. (2012 b) - Soil solarization under greenhouse conditions. In Soil solarisation: theory and practice. (Gamliel A., Katan J. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 187-197.
- Gullino M. L., Garibaldi A. (2006) - Evolution of fungal diseases of ornamental plants and main implications for their management. In: Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: advances and topical issues (Teixeira da Silva J.A. coord.), Global Science Books, London, UK, pp. 464-471.
- Gullino M. L., Gilardi G., Garibaldi A. (2014 a) - Chemical and non-chemical seed dressing for leafy vegetable crops. In: Global perspectives on the health of seeds and plant propagation material (Gullino M. L., Munkvold G. coord.), Springer, Dordrecht, The Netherlands, 125-136.
- Gullino M. L., Gilardi G., Garibaldi A. (2014 b) - Seed-borne pathogens of leafy vegetable crops. In: Global perspectives on the health of seeds and plant propagation material (Gullino M. L., Munkvold G. coord.), Springer, Dordrecht, The Netherlands, 47-56.
- Gullino M. L., Gilardi G., Ortu G., Garibaldi A. (2014 c) - Development and implementation of rapid and specific detection techniques for seed-borne pathogens of leafy vegetable crops. In: Detection and diagnostics of plant pathogens (Bonants P., Gullino M. L. coord.), Springer, Dordrecht, The Netherlands, 157-165.
- Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. (coord.) (2012 a) - Fusarium wilts of greenhouse vegetable and ornamental crops. APS Press, St. Paul, MN, US, 243 pagine.
- Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. (2012 b) - Fusarium wilt of sweet basil. In: Fusarium wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 185-190.
- Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. (2012 c) - The genus *Fusarium* and the species affecting greenhouse vegetables and ornamentals. In: Fusarium wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 5-9.
- Gullino M. L., Minuto A., Gilardi G., Garibaldi A. (2002) - Efficacy of azoxystrobin and other strobilurins against *Fusarium* wilts of carnation, cyclamen and Paris daisy. Crop Protection, 21, 57-61.
- Gullino M. L., Pugliese M., Garibaldi A. (2015 b) - Use of silicon amendments against foliar and vascular diseases of vegetables grown soilless. In: Sustainable crop disease management using natural products (Sangeetha G., Kurucheva V., Jayaraj J. coord.), Cabi, Delémont, Switzerland, 293-306.
- Lazzeri L., Leoni G., Manici L. M. (2004) - Biocidal plant dried pellets for biofumigation. Industrial crops and products, 20, 59-65.
- Lazzeri L., Manici L. M. (2000) - The glucosinolate-myrosinase system: a natural and practical tool for biofumigation. Acta Horticulturae, 532, 89-95.
- Lievens B., Hanssen I. M., Rep M. (2012) - Recent developments in the detection and identification of *formae speciales* and races of *Fusarium oxysporum*: from pathogenicity testing to molecular diagnostics. In: Fusarium wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 47-55.
- Lopez Reyes J. G., Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A. (2016) - *In vivo* evaluation of essential oils and biocontrol agents combined with heat treatments on basil cv Genovese Gigante seeds against *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilici*. Phytoparasitica, 44, 35-45.
- Lopez Reyes J. G., Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A. (2015) - Effetto dei trattamenti fisici sulla sopravvivenza degli agenti di tracheofusariosi sui semi di piante orticole. Protezione delle Colture, 8 (2), 26-31.
- Lopez-Reyes J. G., Gilardi G., Garibaldi A., Gullino M. L. (2014) - Efficacy of bacterial and fungal biocontrol agents as seed treatments against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* on lettuce. Journal of Plant Pathology, 96, 535-539.
- Lu P., Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A. (2010 a) - Biofumigation with *Brassica* plants and its effect on the inoculum potential of *Fusarium* yellows of *Brassica* crops. European Journal of Plant Pathology, 126, 387-402.
- Lu P., Ricauda Aimonino D., Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A. (2010 b) - Efficacy of different steam distribution systems against five soil-borne pathogens under controlled laboratory conditions. Phytoparasitica, 38, 175-189.
- Matheron M. E., Gullino M. L. (2012) - Fusarium wilts of lettuce and other salads. In: Fusarium wilt of greenhouse vegetable and ornamental crops (Gullino M. L., Katan J., Garibaldi A. coord.), APS Press, St. Paul, MN, US, 175-183.
- Matthiessen J. N., Kirkegaard J. A. (2006) - Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management. Critical Reviews in Plant Sciences, 25, 235-265.
- Migheli Q., Garibaldi A. (1990) - Effetto della termoterapia combinata con la concia chimica su bulbi di iris artificialmente inoculati con *Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*. Atti Giornate Fitopatologiche, 2, 297-306.
- Minuto A., Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A. (2008) - Increasing severity of attacks of *Colletotrichum coccodes* on grafted tomato. Acta Horticulturae, 698, 71-76.
- Morra L., Bilotto M. (2010) - Il mercato degli innesti dopo il boom rallenta la crescita: portainnesti per le orticole: proposte delle aziende. Informatore Agrario, 66 (1), 63-66.
- Papazlatani C., Rousidou C., Katsoula A., Kolyvas M., Genitsaris S., Papadopoulou K. K., Karpouzias D. G. (2016) - Assessment of the impact of the fumigant dimethyl disulphide on the dynamics of major fungal plant pathogens in greenhouse soils. European Journal of Plant Pathology, 146, 391-400.
- Pensa P., Minuto A., Bertetti D., Gullino M. L., Garibaldi A. (2007) - Suscettibilità di selezioni di *Gerbera jamesonii* alla tracheofusariosi. Informatore Fitopatologico - La Difesa delle Piante, 57 (11), 35-41.
- Reis A., Boiteaux L. S., Vieira R. F. (2008) - Search for sources of wide-spectrum resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilici* isolates in accessions of *Ocimum* species. Journal of General Plant Pathology, 74, 375-381.
- Reuveni R., Dudai N., Putievsky E., Elmer W. H., Wick R. L. (1997) - Evaluation and identification of basil germ plasm for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilicum*. Plant Disease, 81, 1077-1081.
- Samuels A. L., Glass A. D. M., Ehret D. L., Menzies J. G. (1991) - Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). Canadian Journal of Botany, 69, 140-146.
- Sauter H., Ammermann E., Roehl F. (1996) - Strobilurins from natural products to a new class of fungicides. In: Crop protection agents from nature (Copping L. G. coord.), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 50-81.
- Scott J. C., Kirkpatrick S. C., Gordon T. R. (2010) - Variation in susceptibility of lettuce cultivars to *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. Plant Pathology, 59, 139-146.
- Scott J. C., McRoberts D. N., Gordon T. R. (2014) - Colonization of lettuce cultivars and rotation crops by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*, the cause of fusarium wilt of lettuce. Plant Pathology, 63, 548-553.
- Singh P. K., Kumar V. (2011) - Biological control of *Fusarium* wilt of chrysanthemum with *Trichoderma* and Botanicals. Journal of Agricultural Science and Technology, 7, 1603-1613.
- Srinivasan K., Gilardi G., Garibaldi A., Gullino M. L. (2009) - Efficacy of bacterial antagonists and different commercial products against *Fusarium* wilt on rocket. Phytoparasitica, 37, 179-188.
- Van Os E. A., Wohanka W., Bruins M. A., Seidel R. (2000) - Slow filtration: a technique to minimise the risks of spreading root-infecting pathogens in closed hydroponic systems. Acta Horticulturae, 559, 495-502.
- Walters D. R., Fountaine J. M. (2009) - Practical application of induced resistance to plant disease: an appraisal of effectiveness under field conditions. Journal of Agricultural Science, 147, 523-535.